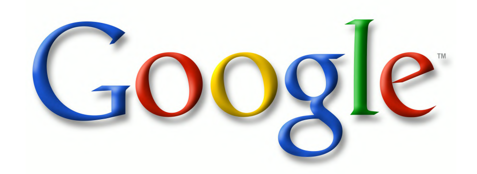
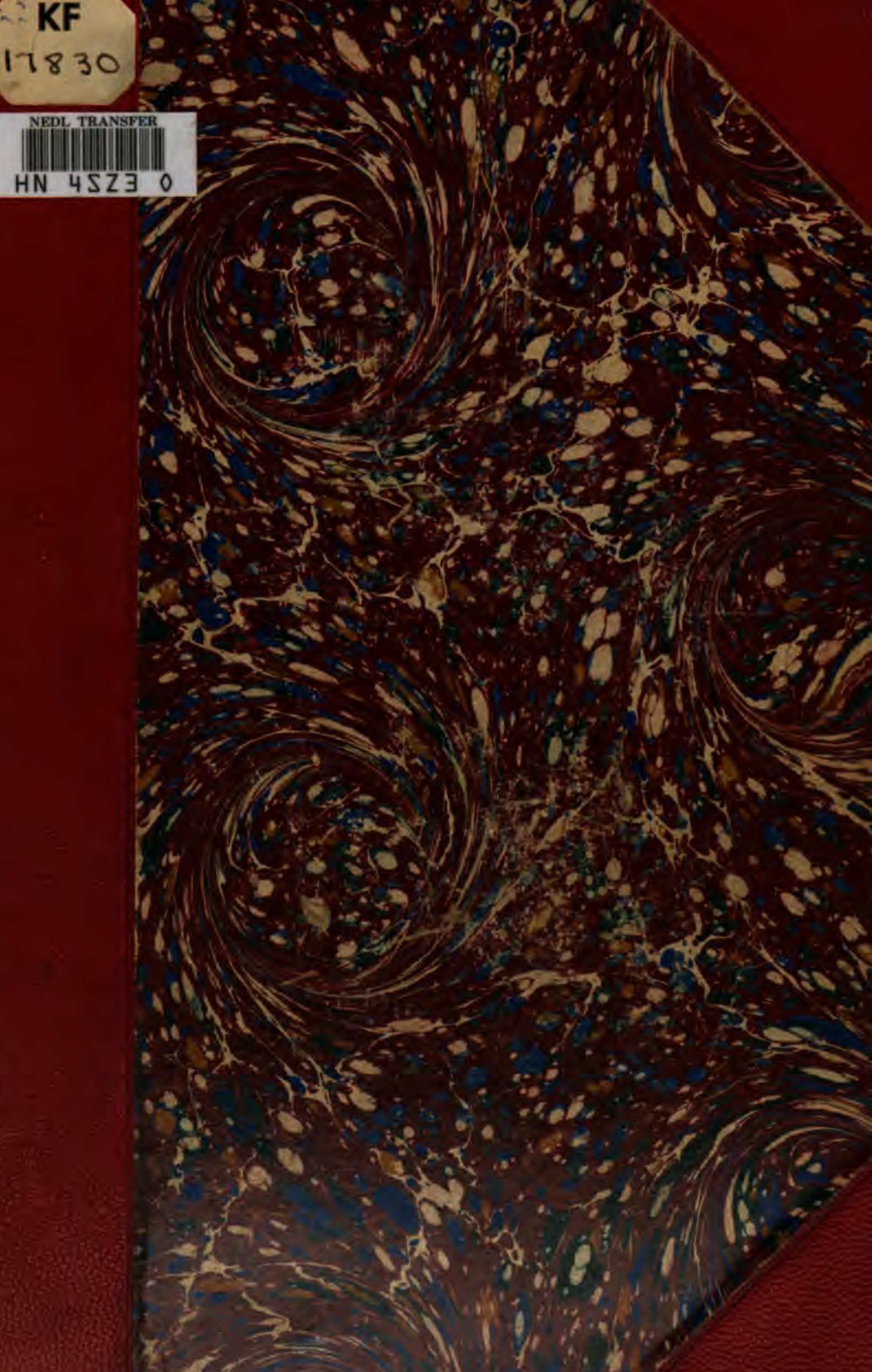






Beiträge

zur

Psychologie und Philosophie

herausgegeben

von

Dr. Götz Martius

o. ö. Professor der Philosophie an der Universität Kiel.

Erster Band.

Mit 43 Figuren im Text und 6 Tafeln.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1905.

Inhalt des ersten Bandes.

1. Heft.

2. Heft.

3. Heft.

4. Heft.

1.

Einleitung

von

Götz Martius.

Die Psychologie ist die Wissenschaft des Seelischen oder Bewussten, nicht die Wissenschaft der Seele oder des Bewusstseins. Dass die Anwendung des Substanzbegriffs auf das Ich oder das Bewusstsein eine falsche Übertragung einer äußern Erfahrungskategorie auf die innere Erfahrung ist, hat uns Kant gelehrt. Kant hatte unzweifelhaft darin Recht, als er hervorhob, dass ein Ich nicht erscheint, dass uns nur einzelne Bewusstseinsvorgänge gegeben sind. Sie sind gegeben, sie werden aufgefasst, appercipiert. Damit ist alles gesagt, was über ihren Ursprung und ihr Wesen aus bloßer innerer Erfahrung gesagt werden kann. Psychologie als Wissenschaft ist die Nachforschung, welches diese in der inneren Erfahrung gegebenen Bewusstseinserscheinungen oder Erlebnisse sind, welches die einfachsten Bewusstseinselemente, welches die zusammengesetzteren Bewusstseinsvorgänge und welches die Beziehung und das Verhältnis der einfachsten Elemente zu den zusammengesetzten. Die Psychologie wäre danach eine rein beschreibende Wissenschaft; etwas in seiner Eigenart Bestimmtes, die in der innern Erfahrung gegebenen Bewusstseinsvorgänge sind ausreichend zu beschreiben.

Den Gegensatz zu den beschreibenden Wissenschaften bilden die erklärenden oder theoretischen Wissenschaften. In der Bestimmung der Psychologie als beschreibender Wissenschaft liegt zugleich die Ausschließung derselben von den erklärenden. Auf rein psychologischem Wege gelangt man nach unserer Auffassung zu keinen erklärenden Gesetzen; auch die Associationsgesetze sind den Naturgesetzen keineswegs gleichwertig; sie beherrschen nicht das gesamte psychische Geschehen oder auch nur den gesamten Vorstellungswechsel eines einzelnen Individuums. Sie sind nur ein Ausdruck für typische Vorkommnisse, die unter bestimmten Bedingungen stehen. Eine »denkende Bearbeitung« des Stoffes giebt es in der Psychologie nicht. Es giebt auch keinen lückenlosen Causalzusammenhang der psychischen Erscheinungen unter einander, keine »connexio idearum«, welche der »connexio rerum« irgendwie gleichwertig wäre. Die psychischen Erscheinungen bleiben etwas relativ Vereinzeltes, im individuellen Bewusstsein Beschlossenes. In dieser ihrer eigenartigen Natur liegt der letzte Grund, dass über die Feststellung und Beschreibung von Einzelthatsachen, die aber typisch sein können, in der Psychologie und durch die Methode der bloßen innern Erfahrung nicht hinauszukommen ist.

Somit scheint auf den ersten Blick die Aufgabe der Psychologie eine einfache, ihre Bedeutung nicht weitreichend und diejenigen scheinen in ihrem Recht zu sein, welche die Psychologie nicht als Wissenschaft im vollen Sinne des Wortes anerkennen wollen.

Aber schon die Aufgabe, wie sie oben bestimmt ist, ist an sich nicht immer einfach. Die Bewusstseinsvorgänge, die innern Erlebnisse können freilich nur aufgezeigt werden. Die psychologischen Thatsachen sind zu finden, sie sind zu entdecken, nicht theoretisch zu bearbeiten. Dieses Finden hat aber seine

Schwierigkeiten. Denn die Art, wie die Bewusstseinsvorgänge im gewöhnlichen Laufe der Dinge gegeben sind, zeigen sie nicht in ihrer Einfachheit und Eigenart, sondern in den verwickeltsten Verbindungen, die ein Erzeugnis der ganzen individuellen geistigen Entwicklung sind. Die oft langwierige Arbeit, die complexen Erscheinungen in die einfachsten Bestandteile zu zerlegen ist die psychologische Analyse.

Die letzten Ergebnisse dieser Analyse, die einfachsten psychischen Erscheinungen, die einer weitern Analyse sich entziehen, sind die Empfindungen. Eine Empfindung hat danach zwei notwendige Merkmale; einmal ist nur das eine Empfindung, was nicht in eine Mehrzahl einfacherer psychischer Erlebnisse auflösbar ist; sodann ist nur das eine Empfindung, was sich als solche in der innern Erfahrung wirklich aufzeigen lässt. So lange ein Empfindungsvorgang nicht im Bewusstsein wirklich aufzeigbar ist, nicht von Jedem unter bestimmten Bedingungen erlebt werden kann, haben wir kein Recht von einer Empfindung zu sprechen. Der Verwechselung von Empfindung und Reiz, Bewusstem und Unbewusstem ist sonst Thür und Thor geöffnet.

Im Unterschied von den Empfindungen heißen Vorstellungen die Bewusstseinserscheinungen, von welchen die psychologische Analyse auszugehen pflegt, die natürlichen Komplexe, wie sie sich unter dem Zwange des Lebens, der Wahrnehmung und des Denkens, bilden und auch im Gedächtnis zu beharren pflegen.

Die psychologische Aufgabe wird aber viel verwickelter und erhält eine in ihr und der Methode der innern Erfahrung als solcher nicht liegende Beziehung zu andern Wissenschaften (zu den Naturwissenschaften), zugleich auch die Möglichkeit allgemeingiltige Gesetze von allerdings besonderer Eigenart aufzustellen, sobald auf die allgemeinen Bedingungen Rücksicht

genommen wird, von welchen das Entstehen der zu beobachtenden psychischen Erscheinungen abhängt: eine Erweiterung der psychologischen Aufgabe, welche als eine der fruchtbarsten und aussichtsreichsten Errungenschaften der Neuzeit anzusehen ist. Die psychischen Erscheinungen sind nur in der innern Erfahrung gegeben, sie sind nur zu konstatieren, aufzufassen, aber ihre Existenz, ihr Dasein ist keineswegs nur durch die innere Erfahrung oder durch eine rein geistige Substanz bedingt. Sie sind an körperliche Vorgänge geknüpft, die selbst in der inneren Erfahrung nicht zur Erscheinung kommen. Das psychische Ereignis, der Bewusstseinsvorgang, wie er sich in der Wirklichkeit abspielt, ist von Bedingungen abhängig, die gänzlich außerhalb der unmittelbaren Erlebbarkeit stehen. Diese Bedingungen sind teils Vorgänge im organisierten menschlichen oder tierischen Körper, teils solche in der Außenwelt, teils physiologische, teils physikalische Reize; es sind als solche Bewegungen, die den mechanischen Gesetzen gemäß erfolgen und im allgemeinen Naturzusammenhang vor sich gehen.

Wie die äußeren Naturvorgänge, welche die allgemein anerkannte Bedingung von psychischen Vorkommnissen bilden, in diesen selbst schlechterdings nicht miterlebbar sind, so trifft man umgekehrt, sobald man die äußern Naturvorgänge als solche in ihrer Eigenart verfolgt, in ihnen nichts an, was auch nur entfernt an die psychischen Erscheinungen erinnerte, deren Bedingung sie sind. Es giebt keine direkte Beziehung zwischen den körperlichen Bedingungen des Bewussten und diesem selbst, weder gelangen wir in der theoretischen Behandlung des äußern Geschehens an ein Psychisches, noch in der unmittelbaren psychologischen Analyse der Bewusstseinserscheinungen an ein Körperliches, das die Bedingung desselben ist. Es handelt sich bei der innern und äußern

Erfahrung um verschiedene Standpunkte, zwischen denen es keine innere Vermittlung giebt. Die räumlich vorstellbare Körperwelt und ihre Veränderungen und die innerlich gegebenen Bewusstseinsvorgänge bilden zwei sich ausschließende Reihen, in denen uns die Welt gegeben ist, deren Verbindungsart aber nicht mitgegeben ist.

Es entsteht daher die Schwierigkeit, wie die psychologische Arbeit, die auf innere Erfahrung angewiesen ist und nur einzelne Bewusstseinsthatsachen auffinden kann, doch einer solchen Erweiterung ihrer Aufgabe fähig sein soll, dass die Bewusstseinsvorgänge zugleich im Zusammenhange ihrer körperlichen Bedingungen untersucht werden.

Die Schwierigkeit, die hier vorliegt und sich der Durchführbarkeit der erweiterten psychologischen Aufgabe entgegenzustellen scheint, ist die des metaphysischen Verhältnisses von Subjekt und Objekt, Körper und Geist.

Es ist daher nicht zu verwundern, dass jede versuchte Ausführung einer Psychologie in dem erweiterten Sinne einen bestimmten metaphysischen Standpunkt, eine bestimmte metaphysische Auffassung des Verhältnisses von Subjekt und Objekt einschließt. Eine voraussetzungslose Psychologie, das könnte auch die Geschichte lehren, ist schlechterdings unmöglich. Es lässt sich auch leicht zeigen, dass gerade diejenigen, welche am meisten heute gegen jede Metaphysik sich wehren und das Wort Metaphysik nur in Anführungszeichen benutzen, um nur ja auf der Höhe des modernen exakten und voraussetzungslosen Denkens zu erscheinen, eine ganz bestimmte metaphysische Grundanschauung zu Grunde zu legen pflegen. Es ist dies der Fall, sobald die materiellen Bedingungen des Psychischen, die psychophysischen Erregungen und das Psychische selbst vermengt werden. Keine Verwechselung pflegt uns heute häufiger zu begegnen, als die zwischen Empfin-

dung und Reiz, Gehirnerregung und Bewusstseinsvorgang. Wo dies geschieht, wo die Bewusstseinserscheinungen nur als andere Seite der Gehirnerregung oder als deren Begleitvorgang aufgefasst werden, ohne dass dabei die spezifisch verschiedene Art des Gegebenseins in innerer und äußerer Erfahrung berücksichtigt wird, liegt die Anschauung zu Grunde, entweder dass die eigentlich reale Seite der Sache die materielle ist oder dass eine ursprüngliche Identität elementarer körperlicher und geistiger Vorgänge besteht, also metaphysische Annahmen ganz bestimmter Art.

Auf der andern Seite schließt auch diejenige Auffassung einen bestimmten metaphysischen Standpunkt ein, welche die Bewusstseinserscheinungen als selbständige und in sich zusammenhängende, eine eigene Kausalreihe bildende Vorgänge ohne Rücksicht auf die körperlichen Bedingungen nur in sich selbst betrachten zu dürfen meint. Hatten wir oben eine einseitige Betonung des Standpunktes der äußern Erfahrung, so haben wir hier eine einseitige Bevorzugung des der innern. Man kann die psychische Erscheinungsreihe nur dann mit einem Schein von Recht als eine eigene in sich geschlossene Reihe betrachten, wenn sie das Erzeugnis einer eigenartigen geistigen Wesenheit (Substanz) ist, welche unabhängig von allem Materiellen das Psychische in sich und aus sich erzeugt. Jede Bestimmung des Psychischen durch die körperlichen Vorgänge ist dann in Wirklichkeit Schein. Die körperliche Welt selbst kann dabei neben der geistigen ihr eigenes Sein behalten, oder es kann die reale Existenz derselben vollständig geleugnet und ebenfalls für Schein erklärt werden. Hält man aber an dem geschlossenen System des geistigen Geschehens fest, überträgt man auf die geistigen Vorgänge das Kausalgesetz und lässt zugleich doch wieder das geistige Sein durch das körperliche bedingt werden, so macht man

sich unserer Meinung nach eines innern Widerspruchs gleich beim Ausgangspunkt der Arbeit schuldig.

Es ist leicht zu sehen, wie in der heutigen psychologischen Litteratur die verschiedenen möglichen metaphysischen Standpunkte sich wiederspiegeln, so sehr man prinzipielle metaphysische Erörterungen zu vermeiden sucht. Für psychologische Einzelfragen und die experimentelle Einzelarbeit lässt sich in einem gewissen Maße von den allgemeinen metaphysischen Voraussetzungen absehen, wenn nur die Grundbegriffe scharf und konsequent gefasst sind. Sobald es sich um allgemeine Fragen, um den allgemeinen Zusammenhang der psychischen Lebenserscheinungen handelt, ist dies nicht möglich. Je schärfer der prinzipielle Standpunkt dann hervortritt, um so besser ist es für die Sache. Denn die psychologische Arbeit ist allein geeignet die Entscheidung zwischen den verschiedenen metaphysischen Hypothesen über das Verhältnis von Objekt und Subjekt zu erleichtern. Das gesamte Material, welches die psychologische Arbeit heute in so reichem Maße zu Tage fördert, muss sich im Sinne einer metaphysischen Auffassung interpretieren und darstellen lassen, wenn dieselbe auch fernerhin weitere Berücksichtigung verdienen soll. Nicht durch das Mittel der Spekulation, die sich in der Aufstellung der verschiedenen Möglichkeiten erschöpft hat, sondern durch die empirische Einzelforschung ist die Entscheidung auch dieser philosophischen Fragen heute herbeizuführen. Ist das Psychische nichts als der Ausdruck bestimmter materieller Veränderungen, sind Empfindungen als einfache elementare psychische Vorgänge gleichwertig mit den einfachsten Beziehungen der Atome, so muss das gesamte Bewusstseinsmaterial in gleich bestimmter Weise als Ausdruck der körperlichen Lebenserscheinungen, als Ausdruck bestimmter chemischer und physikalischer Verände-

rungen sich darstellen lassen. Ist andererseits die psychische Erscheinungsreihe ein in sich abgeschlossenes Ganzes mit eigenem kausalem Zusammenhang, so wird sich die in diesem Ganzen liegende eigene Gesetzmäßigkeit ohne Rücksicht auf die Körperwelt auch in der Beobachtung zur Geltung bringen. Zeigt sich beides in der Einzeldurchführung unmöglich, so ist damit zugleich bewiesen, dass die Beziehung von Objekt und Subjekt nicht so einfach ist, wie in jenen Anschauungen angenommen wird, dass infolge dessen das Verhältnis der äußern und innern Erfahrung nicht so bestimmt werden kann, dass entweder der einen oder der andern Seite, entweder der körperlichen oder der geistigen Erscheinungswelt, eine ausschließliche und einzig wesentliche Bedeutung verliehen wird. —

Die folgenden Untersuchungen gehen von der in der psychologischen Einzelarbeit gewonnenen und später im Einzelnen zu bewährenden Anschauung aus, dass dies in der That so ist, dass die Psychologie auf Unmöglichkeiten und Widersprüche geführt wird, wenn sie die spezifische Verschiedenheit des Standpunktes der innern und äußern Erfahrung, den unüberbrückbaren Gegensatz von Objekt und Subjekt, in einer der hergebrachten Arten auf metaphysischem Wege zu beseitigen sucht. Psychologie lässt sich weder in Physiologie auflösen, noch giebt es eine fruchtbare Psychologie, welche die geistigen Phänomene in strenger Sonderung von den körperlichen Bedingungen einer Bearbeitung unterzieht. Die Psychologie wird ihrer erweiterten Aufgabe nur gerecht, wenn sie sich hütet, in die überlieferten materialistischen oder spiritualistischen Bahnen zurückzugleiten.

Wie aber ist dann diese Aufgabe zu lösen, wie muss sie gefasst werden, um dieser doppelten Gefahr endgültig zu entgehen?

Wir hatten einmal festgestellt, dass die innere Erfahrung darauf beschränkt sei, psychische Thatsachen zu konstatieren, aufzufassen, zu bemerken. Die innere Erfahrung kommt über dies Auffassen, Appercipieren nicht hinaus, mag die psychologische Analyse eine ganz einfache und kunstlose, mag sie eine durch alle Mittel des Experiments und wissenschaftlicher Erfahrung unterstützte sein. — Wir haben zweitens gesehen, dass das Psychische an körperliche Bedingungen geknüpft ist und dass dadurch die Möglichkeit entsteht, das Psychische zu untersuchen in Beziehung auf die körperlichen Veränderungen, von denen es als abhängig zu denken ist. Gerade hierauf beruhte der Fortschritt der neuern Psychologie und die Erfolge, welche diese durch Aufdeckung so vieler bis dahin unbekannter psychischer Phänomene erreicht hat. Offenbar werden wir diesem eigenartigen Sachverhalt nur gerecht, wenn wir im Lauf der Untersuchung die Thatsache, dass die psychischen Erscheinungen als solche nur in der innern Erfahrung gegeben sind, nicht wieder außer acht lassen. Die Heterogeneität des Psychischen und Physischen, die Verschiedenheit des Standpunktes der innern und äußern Erfahrung, muss für die Methode der Psychologie im Einzelnen gesetzgebend bleiben. Es werden also beispielsweise Empfindungen, welche in der psychologischen Erfahrung gleich erscheinen, als gleich angesehen werden müssen, auch wenn nachweislich die sie auslösenden Reize oder psychophysischen Erregungen ungleich sind; von Verbindungen der Empfindungen wird da und nur da die Rede sein können, wo die in eine Verbindung eintretenden Empfindungen sich in der psychologischen Analyse auf künstlichem oder kunstlosem Wege wieder isolieren lassen, mögen die entsprechenden Reizverhältnisse einfachster oder zusammengesetztester Natur sein. Umgekehrt ist eine Empfindung als einfach anzusehen, auch wenn die sie erzeugenden

Reize noch so zusammengesetzt sind, falls oder so lange sie sich vor der innern Erfahrung als unzerlegbar bewährt. Die zeitlichen Verhältnisse der Vorstellungen in ihrer Entstehung und ihrem Zusammenhang sind sorgfältig von den zeitlichen Verhältnissen der Reize und Erregungen zu unterscheiden, und die psychische Eigenart des individuellen geistigen Lebens wird nicht berührt durch die Gleichartigkeit, in welcher der äußern Erfahrung die dasselbe bedingenden physiologischen Prozesse überall erscheinen. Das Psychische darf und muss seinen eigenen Maßstab beanspruchen, auch wenn es in dem Zusammenhang mit der körperlichen Natur untersucht wird, es muss nach eigenem und nicht nach fremdem Recht beurteilt werden.

Die Abhängigkeit des Geistes vom Körper, des Psychischen vom Physischen hat demnach einen ganz andern Sinn, als sonst irgend ein Funktionsverhältnis hat. Die Gleichung $fx = y$ könnte das Verhältnis nur unter Zuhilfenahme eigenartiger, dem besondern Fall angepasster Annahmen ausdrücken. Vielleicht dient die Durchführung der Analogie mit dieser Formel dazu, unsere Meinung klarer zum Ausdruck zu bringen. Es sei x die Veränderliche, welche die Körperwelt vertritt, y die Veränderliche, welche den Bewusstseinsvorgängen entspricht, so würde sowohl x wie auch y als unabhängig Variable und entsprechend umgekehrt sowohl y wie auch x als abhängig Variable angesehen werden können. Der erstere Fall entspräche dem feinern und gröbern Materialismus, der zweite dem Spiritualismus. Es könnten auch beide, x und y jedes für sich, ein geschlossenes System darstellen, die nur äußerlich durch das Gleichheitszeichen verbunden sind (Dualismus nach Art des Des Cartes oder Leibniz). Alle diese Fälle sind also nach unserer Meinung als unzutreffend auszuschließen. Die übrig bleibende Möglichkeit

ist weniger einfach und anschaulich. Nach ihr besteht die allgemeine Funktion im eigentlichen Sinne des Wortes überhaupt nicht. Das Bestehen einer solchen würde einen wirklichen Einblick in das Wesen des Verhältnisses von Objekt und Subjekt voraussetzen. Es lässt sich nur feststellen, dass wenn x sich verändert, zuweilen in gesetzmäßiger Weise y sich gleichfalls verändert (zuweilen, denn nicht jede Änderung in der Natur ist mit psychischen Folgen verbunden) und dass umgekehrt wenn y sich ändert, dies nicht ohne Veränderungen von x möglich ist. Die Gleichung $fx = y$ zerlegt sich mithin in Wirklichkeit in eine Reihe $x_, = y_,$, $x_{,,} = y_{,,} \ldots\ldots$ Aber es ist nicht möglich, aus den einzelnen Gliedern der Reihe die allgemeine Funktion zu gewinnen, nicht allein weil unsere Kenntnis derselben zu lückenhaft wäre, sondern weil das Funktionsverhältnis selbst im Unerkennbaren liegt und auch durch die Einzelglieder im einzelnen Fall nicht eigentlich aufgeklärt wird. Stellen wir uns die x-Werte als Abscissen dar, so würden die entsprechenden uns bekannt werdenden Ordinaten oder y-Werte nicht auf der x-Achse in gleicher Ebene und von demselben Punkte ausgehend aufzutragen sein, sondern sie wären auf einer beliebigen, irgendwo im Raume liegenden Achse anzuordnen, so dass also eine reale Kurve durch die beiden Wertreihen doch nicht bestimmt wäre. Äußere und innere Erfahrung lassen sich nicht zu einer einheitlichen Funktion verbinden. Wollte aber jemand behaupten, gerade deswegen habe man für die eigentlichen Bewusstseinsdaten die entsprechenden psychophysischen Erregungen einzusetzen und so die y-Werte den x-Werten innerlich gleich zu machen, so ist dem zu entgegnen, dass mit der so veränderten Auffassung nicht die Aufgabe des Psychologen, sondern einzig die des Physiologen ausgedrückt werden kann. Gerade gegen diese Verwischung

der Reinheit der psychologischen Aufgabe richtet sich unsere Absicht.

Es folgt daraus, dass die Untersuchung des Psychischen in seiner Abhängigkeit vom Physischen nur die Absicht haben kann, die wirklichen Bewusstseinsthatsachen, wie sie im Zusammenhang der Naturvorgänge gegeben sind, ans Licht zu ziehen. Was ist in der innern Erfahrung nachweislich gegeben, wenn bestimmte Reize oder Reizveränderungen vorliegen, das ist die Frage, die zu beantworten ist. Auch nach Erweiterung ihrer Aufgabe und unter Berücksichtigung der körperlichen Bedingungen der psychischen Erscheinungen hat die Psychologie nichts anderes zu leisten, als Bewusstseinsthatsachen zu finden und festzustellen. Die psychologische Analyse verfügt heute über ungleich reichere Mittel als früher, die Aufgabe ist die alte. Die Art des Suchens ist eine andere geworden, dadurch dass die Naturwissenschaften den leitenden Faden auf den verschlungenen Wegen an die Hand geben, die Art der Ergebnisse ist die frühere. Physik, Chemie und Physiologie sind zu Hülfswissenschaften der Psychologie geworden, nicht als ob sich die psychischen Phänomene in physiologische Vorgänge überführen ließen, wie sich die letzteren in chemische und physikalische Veränderungen auflösen lassen, sondern nur weil erst durch die Kenntnis der physikalischen und physiologischen Reizvorgänge eine genauere Einzelanalyse des psychischen Geschehens ermöglicht worden ist.

In der geschilderten Weise müsste die Aufgabe der Psychologie bestimmt werden, selbst für den Fall, dass unsere Ansicht zu skeptisch wäre und in der Zukunft es gelänge, durch allmähliche Vermehrung unserer Einzeleinsichten doch einen mehr oder weniger vollkommenen Einblick in das Ganze der Abhängigkeitsbeziehung zu gewinnen. Denn nur so ist eine Selbsttäuschung in bezug auf das wirklich Gefundene

und die Vermengung des Psychischen und Physiologischen zu vermeiden. Dass die Entwicklung der neueren Psychologie nicht stets sogleich die richtige dem Wesen der Psychologie entsprechende Fragestellung gefunden hat, ist dabei nicht zu verwundern. Es ist auch natürlich, dass die Verschiedenheit des physiologischen und physikalischen Standpunktes hierbei eine Rolle spielt. Man kann daher deutlich in vielen Fragen und der Art ihrer Beantwortung ein physikalisches, physiologisches und psychologisches Stadium erkennen. Die Psychophysik Fechner's ging unmittelbar von den physikalischen Erscheinungen aus und setzte die intensiven Reizveränderungen in direkte Beziehung zu den Empfindungsveränderungen. Die sogenannte physiologische Erklärung des Weber'schen Gesetzes machte darauf aufmerksam, dass die Veränderungen der Empfindungen nicht mit denen der physikalischen Reize, sondern mit denen der physiologischen Erregungen wahrscheinlich parallel gehen. Eine wahrhaft psychologische Auffassung des Weber'schen Gesetzes wird sich bewusst bleiben, dass zwischen den Reizveränderungen und den Empfindungen gar keine innere Beziehung besteht, dass daher auch hier uns ein Einblick in das Funktionsverhältnis im Grunde entzogen und es nur möglich ist, die Thatsachenfrage zu entscheiden, wie denn in Wirklichkeit die Empfindungen bei allmählicher Änderung der Reizgrößen sich verhalten. Für die psychologische Auffassung ist daher das Bestehen der Reiz- und Unterschiedsschwelle das eigentlich wichtige Ergebnis der »Empfindungsmessung«. Eine ähnliche Entwicklung zeigt die Raumtheorie. Die genetischen Erklärungen, so auch die von Helmholtz, legten die Ergebnisse der mathematisch-physikalischen Analyse der Raumverhältnisse zu Grunde. Sie beantworteten die Frage, wo liegt der Raumpunkt eines Bildpunktes, und ließen das Bewusstsein durch

sekundäre Prozesse vom Bildpunkt auf den Raumpunkt schliessen. Hering sucht für die elementaren Raumgefühle ihnen genau entsprechende physiologische Erregungen. Die psychologische Frage ist einfach die: welche elementaren räumlichen Vorstellungen entsprechen welchen objektiven Reizvorgängen oder räumlichen Verhältnissen? Stellt sich bei Beantwortung dieser Frage heraus, dass die psychologische Analyse der Raumvorstellung nicht über Empfindungen von zweidimensionalem Inhalte hinauszuführen ist, so sind solche Empfindungen im Sinne des »Nativismus« als letzte gegebene Bewusstseinsthatsachen anzusehen, welche der Erklärung der zusammengesetzteren Raumvorstellungen zu Grunde zu legen sind. Die Entscheidung über Nativismus und genetische Theorie liegt in keinen allgemeinen Erwägungen, es handelt sich um eine psychologische Thatsachenfrage. Auch bei der Theorie der Farbenempfindungen kann man ein mehr physikalisches und ein mehr physiologisches Stadium unterscheiden. Die von Helmholtz angenommene Young'sche Hypothese ging von den Mischungserscheinungen aus. Die Hering'sche Theorie, welche heute die meisten Anhänger zählt, ist rein physiologisch. Die Wundt'sche Stufentheorie hat einen mehr psychologischen Charakter. Sie lässt nicht nur die physiologischen Processe, welche den Farbenempfindungen entsprechen, infolge der Mangelhaftigkeit unserer heutigen Kenntnisse derselben unbestimmt, sie hütet sich auch vor dem Fehler, eine unmittelbare Identität grundlegender physiologischer Prozesse mit ihnen entsprechenden Grundfarben von vornherein zu fordern. Gefordert kann nur werden, dass die anzunehmenden Netzhautprocesse mit den zu beobachtenden Empfindungen nicht im Widerspruch stehen; wie sich wirklich die Empfindungen verhalten, ist zunächst wieder nichts als eine Thatsachenfrage.

So richtet sich denn also diese Auseinandersetzung keineswegs gegen berechtigte physiologische Untersuchungen, sondern nur gegen eine unberechtigte Verquickung des psychologischen und physiologischen Standpunktes. Die psychologische Arbeit kann nur gedeihen, wenn die in der innern Erfahrung gegebene feste Richtlinie für dieselbe unentwegt festgehalten wird.

Aber, wird man einwenden, die als vorhanden zugegebene Abhängigkeit des Geistigen vom Körperlichen verlangt doch schließlich eine Erklärung. Sieht man die Sache so an, wie wir es thun, dass nur einzelne Ausschnitte dieser allgemeinen Beziehung der Forschung sich zugänglich erweisen, dass aber das Funktionsverhältnis selbst sich jeder selbst hypothetischen Verallgemeinerung entzieht, so bleibt man nicht blos vor einem metaphysischen Rätsel stehen, man hat es mit einer in sich unbefriedigenden und lückenhaften Anschauung zu thun.

Diese Schwierigkeit weniger empfindlich zu machen, ist nicht Aufgabe der Psychologie als solcher, als empirischer Wissenschaft. Sie beruht wesentlich auf der langen Gewöhnung, die restlose Einordnung des Psychischen in die mechanische Welterklärung als eine selbstverständliche Forderung anzusehen. Gegen diese Forderung muss aber eine besonnene kritische Erkenntnistheorie Einspruch erheben. Die körperlichen Veränderungen, die wir uns als System von geschlossener Gesetzmäßigkeit vorstellen, sind uns nicht gleich unmittelbar gegeben, wie die psychischen Vorgänge. Gegeben ist nur die Wahrnehmungswelt, aus welcher in langwieriger Denkarbeit die begriffliche Welt der Naturerkenntnis erst geschaffen ist. Es ist nun gewiss nicht selbstverständlich, dass die Art, wie wir im gesetzmäßigen Denken uns die Dinge verständlich machen, wie wir sie auf begriffliche Formeln bringen, zugleich genau die Art wäre, wie die Dinge in ihrem innersten Sein beschaffen sind. Das müsste aber der Fall sein, wenn die

vollendete Erkenntnis der Natur (des x) vorausgesetzt, sich in dieselbe die Gesamtheit der Bewusstseinsvorgänge (y) restlos und in einfacher Beziehung einordnen ließe.

Der Fehler, der hier begangen wird, ist der, dass man der mechanischen Erklärung der Dinge mehr zumutet als sie leisten kann. Denn die mechanische Erklärung dringt nicht in das innerste Wesen ein. Sie erklärt nicht einmal die Formen, die organischen und unorganischen Gebilde, von denen sie ausgeht, eine Thatsache, über die keine darwinistische Anpassungstheorie hinwegtäuschen kann. Wohl sind die mechanischen Gesetze die Mittel der Natur zur Hervorbringung der Formen. Aber dieselben mechanischen Gesetze würden Formen ganz anderer Art genau so gut erklären, wie diejenigen, welche unsere Erde schmücken. Viel weniger noch ist das geistige Sein ein einfaches Produkt der mechanischen Mittel, die vielmehr selbst ihrer Form nach ein Erzeugnis des erkennenden Verstandes sind. Die ewigen Gesetze der Natur haben an sich keinen Wert, wie die rationalistische Philosophie verschiedener Schattierung uns glauben machen will; sie sind nur die erkennbaren Mittel, durch welche die Gesamtheit der Dinge und ihrer Veränderungen sich wieder erzeugt, Mittel, die auch zur Hervorbringung der Formen und der geistigen Phänomene notwendig sind. Es hindert uns aber nichts, in ihnen eben nur Mittel, in diesen jedoch den Zweck des Seins zu sehen und damit zu einer lebensvolleren Auffassung der Natur, wie sie den Griechen vorschwebte, in einer den Fortschritten der exakten Erkenntnisse entsprechenden Weise auf weiten Umwegen zurückzukehren. Vor einer Verwechslung der wirklichen Zwecke mit den wirklichen Ursachen, wie sie so lange den Fortschritt der Wissenschaften gehemmt hat, würde uns heute die exakte Kenntnis dieser Mittel wirksam schützen können.

2.

Das Gesetz des Helligkeitswertes der negativen Nachbilder

von

Götz Martius.

Mit 11 Figuren im Text.

In der folgenden Arbeit sind die Ergebnisse von Versuchen und Studien über die negativen Nachbilder niedergelegt, welche mich bereits seit längerer Zeit beschäftigt haben und den Zweck verfolgten, das Wesen der Nachbilder einer genaueren Prüfung zu unterziehen. Mag in dieser Beziehung der Erfolg meiner Bemühungen auch noch nicht befriedigen, so glaube ich doch einige wichtige Aufklärungen in bezug auf dieselben gefunden zu haben, die ich nicht länger zögern möchte der Kritik der Fachgenossen zu unterbreiten. Denn die Tragweite der von mir gefundenen Thatsachen, so wie ich sie verstehe, ist nicht gering. Einige Konsequenzen in Beziehung auf die Helligkeit der Farben habe ich bereits selbst gezogen. Aber auch für die allgemeine Theorie des Sehens, für die Theorie der beim Sehen sich abspielenden physiologischen Vorgänge auf der Netzhaut, folgen aus den gewonnenen Ergebnissen neue Anschauungen. Die alten Erklärungen der Nachbilder und ihrer physischen Ursachen reichen nicht zu. Dass dies so ist, glaube ich überzeugend in Folgendem bewiesen zu haben. Es wird Sache

der Zukunft sein, die Theorien den neuen Thatsachen, soweit sie sich bestätigen, anzupassen.

Von vornherein war ich geneigt, in bezug auf die psychologische Natur der negativen Nachbilder von der heute hergebrachten Theorie abzuweichen. Nach dieser beruhen die Nachbilder auf einer Ermüdung der Netzhaut oder der Erschöpfung einer Sehsubstanz. Die Ermüdung hat die Folge, dass eine belichtete Fläche mit der ermüdeten Netzhautstelle anders gesehen wird, als sie sonst gesehen würde. Es war mir aber schon lange aufgefallen, dass die unmittelbare psychologische Beobachtung eine andere Auffassung der Nachbilder so nahe legt, dass nur der Zwang einer fertigen und die Thatsachen gut erklärenden Theorie von dieser natürlichen Auffassung abwenden konnte. Wenn man längere Zeit eine kleine Fläche auf einem Hintergrund von anderer Farbe oder Helligkeit ohne Blickbewegung betrachtet hat, so hat die kleine Fläche allmählich ihr Aussehen verändert. Blickt man dann auf einen beliebigen, anderen Hintergrund, so sieht man diesen zuerst in seiner natürlichen, längst bekannten Farbe und Helligkeit, nach einer kürzeren aber deutlich bemerkbaren Zeit, die oft mehr als eine oder mehrere Sekunden zu betragen scheint, entwickelt sich auf ihm das Nachbild. Man sieht die Stelle, welche der kleinen fixierten Fläche entspricht, in scharfer Begrenzung sich von dem übrigen Hintergrunde abheben in einer Farbe und Helligkeit, welche im allgemeinen zu der der Fläche selbst komplementär und entgegengesetzt ist. Schließt man die Augen, so erscheint das Nachbild in scharfer Umgrenzung mitten in dem dunkeln nahen Gesichtsfelde in der entsprechenden Kleinheit desselben in derselben Farbe und Helligkeit. Sieht man wieder auf eine andere Fläche, von anderer Helligkeit und Farbe, erscheint das Nachbild nach einigem Zögern wieder, ganz so wie vorher,

nur dass die Gesamthelligkeit und Farbe durch den neuen Hintergrund modificiert ist. Halte ich den Blick ruhig auf einen Punkt gerichtet, so ruht dort auch das Nachbild, gleite ich mit dem Blick auf der betrachteten Ebene ruhig vorwärts, so giebt es eine geringe Geschwindigkeit, bei welcher das Nachbild ebenfalls und gleichzeitig mit der Verlegung des Blickpunktes fortschreitet. Sobald diese Geschwindigkeit nur um ein geringes überschritten ist, bleibt aber das Nachbild zurück, es wird nicht gesehen, die betrachtete Fläche, auf welcher der Blick gleitet, erscheint so wie sie stets zu erscheinen pflegt.

Der natürlichen psychologischen Auffassung stellt sich das Nachbild hierbei als eine selbständige Empfindung dar, die vorhanden ist, aber nicht immer die Aufmerksamkeit erregt, nicht immer appercipiert wird. Dem psychologischen Beobachter sind ähnliche Empfindungen und Vorstellungen nicht fremd. Um nur bei demselben Sinn zu bleiben, so zeigen die Wettstreitbilder und die Doppelbilder ein sehr ähnliches Verhalten. Versieht man die Augen je mit einem verschieden gefärbten Glase und betrachtet die Gegenstände des Zimmers oder der Landschaft, so erscheinen sie eine Zeit in der Farbe des einen Auges, dann wieder in der des andern, dann sieht man sie wieder gleichsam durcheinander. Hier bestehen deutlich und unbestritten zwei Vorstellungen von den Gegenständen, die infolge ihrer verschiedenen Färbung sich um die Aufmerksamkeit streiten und in verschiedenem Wechsel appercipiert werden. Ganz so ist es bei den Doppelbildern, welche von den Gegenständen entstehen, die hinter oder vor dem Fixationspunkt gelegen sind. Je schärfer die Aufmerksamkeit sich auf die Ebenen des Fixationspunktes richtet, um so leichter entfällt ein oder das andere Doppelbild der Apperception. Der Wechsel ist hier nicht so häufig und willkürlich

wie bei den Erscheinungen des Wettstreits der Sehfelder. Dass aber die wirklich vorhandenen Vorstellungen häufig nicht bemerkt werden, zeigt schon die Thatsache, dass die meisten Menschen von der Existenz ihrer Doppelbilder nichts wissen. Auch hier wird von niemand geleugnet, dass die Doppelbilder als selbständige Vorstellungen wirklich bestehen. Einen ganz entsprechenden Eindruck machen der unbefangenen Beobachtung die Nachbilder. Sie sind vorhanden bei offenem und geschlossenem Auge, werden aber keineswegs stets bemerkt. Blickt man auf einen Hintergrund, so legt sich das Nachbild eben dorthin, richtet man den Blick in größere Nähe oder Ferne, so entsteht dort nach kürzerer Zeit das Nachbild ebenfalls. Es macht dies genau den Eindruck, wie wenn eine Vorstellung, welche der Aufmerksamkeit entfallen war, wieder appercipiert wird. Die Nachbilder erscheinen als wirklich und andauernd bestehende Vorstellungen, die nur dann einen Zwang der Apperception einschließen, wenn irgend ein Punkt ruhig fixiert wird, und die dann mit dem Grunde ein näheres Verhältnis eingehen, in eine Gesamtvorstellung verschmelzen. Auch die Doppelbilder haben bei ruhiger Fixation ihre bestimmte Stelle. Die geschilderten Verhaltungsweisen sind längst bekannt. Die Analogieen der Nachbilder zu andern Bewusstseinsvorgängen haben sich gewiss auch manchem Beobachter schon mit großer Zudringlichkeit aufgedrängt. Es standen aber der Auffassung der negativen Nachbilder als beharrender Vorstellungen die Theorieen der Nachbilder gegenüber, welche die gesamten Erscheinungen in höchstem Grade befriedigend zu erklären schienen. Diese heute herrschenden Theorieen knüpfen sich an die Namen Fechners und Herings. Dabei besteht der wesentliche Unterschied, dass die Anschauungen Fechners schlechthin mit der natürlichen, psychologischen Auffassung in Widerspruch stehen, während die

Erklärungsart Herings an sich mit den Bedürfnissen der Psychologie nicht unvereinbar ist.

Die älteren Arbeiten über Nachbilder haben durch Plateau[1]) eine ausführliche und äußerst durchsichtige Darstellung gefunden. Es ist nicht ohne Interesse, dass die späteren Theorieen, auch die von mir angedeutete, sich bereits in jener Zeit finden, wo die Thatsachen selbst noch keineswegs vollständig bekannt waren. Es ist auch ein leichtes, zu jeder heute vertretenen Ansicht aus der Zeit vor hundert Jahren ein Gegenstück herauszufinden, so dass es den Anschein gewinnt, als ob trotz der vielen Bemühungen ein Fortschritt nicht stattgefunden hätte. Diese Beobachtung ist um so mehr geeignet die Wertschätzung unserer eignen Leistungen zu mäßigen, als jeder Wortführer der verschiedenen Ansichten die seinen als neue Theorie anzusehen geneigt ist. Geht man auf die Begründung und Ausführung der Theorieen ein, so gewinnt man freilich von dem Fortschritt der Zeiten einen freundlicheren Eindruck, der sich je länger, je mehr verstärkt. Die Methoden werden exakter, das Material vollständiger. Wieder ein Beweis, dass es vielfach leichter ist, eine Theorie zu finden, als eine Thatsache zu konstatieren. Vielleicht gelingt es heute, wenigstens die eine oder die andere der bisher noch verteidigten Möglichkeiten auszuschließen.

Eine Ansicht, wie diejenige de Godarts[2]) wäre heute nicht mehr möglich. Sie zeigt, wie unverwüstlich der Drang

---

1) Vergl. Plateau, Essai d'une théorie générale comprenant l'ensemble des apparences visuelles qui succèdent à la contemplation des objets colorés et de celles, qui accompagnent cette contemplation: c'est-à-dire la persistance des impressions de la rétine, les couleurs accidentelles, l'irradiation, les effets de la juxtaposition des couleurs, les ombres colorées etc. Nouveaux mémoires de l'Académie de Bruxelles, 8. 1834.

2) Plateau a. a. O. 24; Journal de physique, tom. VIII.

ist, etwas Unbekanntes durch die Analogie von Bekanntem sich verständlich zu machen. Ich glaube, dass auch die heutige Ermüdungstheorie durch das Hereinziehen des der vulgären Vorstellungsweise wie der physiologischen Beobachtung gleich vertrauten Begriffs der Ermüdung nicht zum wenigsten ihre Dauerhaftigkeit verdankt. Die Entstehungsweise der Töne ist jedermann durch die Sinne bekannt, die des Lichtes und der Farben nicht. De Godart vergleicht die Retina-Fibern mit Musiksaiten, die Farben mit Tönen. Der tiefste Ton ist schwarz, es folgen blau, rot, grün, gelb, der höchste ist weiß. Hat das Auge eine Farbe längere Zeit betrachtet, so bewirkt die Fortdauer der Erregung eine um so größere Vertiefung des Tones beim Anblick von Weiß, je höher der erste Eindruck war. Es ist leicht zu sehen, dass die Analogie eine sehr vage ist und eine Erklärung nicht einschließt.

Abgesehen von dieser bloßen Analogie finden wir eine Oscillationstheorie, welche derjenigen Herings von den antagonistischen Processen entsprechen würde, eine Ermüdungstheorie im Sinne Fechners, eine psychologische Vergleichstheorie, und eine Theorie, welche die Nachbilder als selbständige Empfindungen ansieht.

Jurin[1]) kannte nur die Nachbilder von Schwarz und Weiß. Er nahm an, dass eine Empfindung, wenn sie aufhört, von selbst oder aus Gründen, die sonst keine oder keine starke Empfindung hervorbringen würden, in eine entgegengesetzte übergeht. Ähnlich folgt auf einen starken Schmerz eine merkbare Lust, nach einem kalten Bade ein starkes Wärmegefühl.

Scherffer[2]) vertrat eine ausgesprochene Ermüdungs-

---

1) In: Traité d'optique de Smith, tom. I; cf. Plateau a. a. O. 9.
2) Vergl. Journal de physique de Rozier, tom. 26, 1785.

theorie. Erhält ein Sinn einen zwiefachen Eindruck, von denen der eine stark, der andere schwach ist, so wird der letztere nicht empfunden, zumal wenn beide gleichartig sind oder eine starke lange Einwirkung von einer schwachen gefolgt wird. Hat man z. B. ein weißes Carré auf dunkelm Grund betrachtet, so erscheint die Stelle des Weiß nach längerer Einwirkung und nach Entfernung des weißen Carrés dunkler als der übrige Grund. Die Theorie war die verbreitetste ihrer Zeit und wurde nach Plateau noch einfacher so formuliert: »Wenn das Auge oder ein anderes Organ einer hinlänglich langen Erregung ausgesetzt gewesen ist, so verliert es für gleichartige Eindrücke die Empfindlichkeit.« Dass die »zufälligen Farben«, wie man damals die komplementär gefärbten Nachbilder nannte, sich auch im vollendet Dunkeln entwickeln, war Scherffer bereits bekannt. Die Schwierigkeit, die hierin für seine Theorie lag, suchte er durch die Annahme zu beseitigen, dass bei einer Einwirkung eines farbigen z. B. roten Lichtes zuerst das rote Licht dominiert und ausschließliche Geltung hat, dass aber nach Schluss der Augen in einer Art Nachwirkung grünes Licht sich nachträglich Geltung verschafft, welches bereits vorher unempfunden im Reiz vorhanden war. Die starke Reizung durch das überwiegend rote Licht würde danach schneller schwinden, als die schwache durch das wenige grüne Licht; und doch sagt diese unwahrscheinliche Aushülfsvorstellung Scherffer mehr zu, als der Gedanke, dass das schwache durch die Pupille dringende Licht den Reiz für die zufällige Farbe bilde. Mir scheint, dass sich darin ein gesunder Sinn verrät, der hervorgehoben zu werden verdient, nachdem man sich heute durch lange Gewöhnung den Gedanken hat aneignen müssen, dass das sogenannte Eigenlicht der Netzhaut als Reiz zur Erzeugung der komplementären Nachbilder im vollständig dunkeln Auge genüge.

Der Vertreter einer psychologischen Vergleichungstheorie ist Prieur de la Côte d'or[1]). Ganz ähnlich wie später Helmholtz führt er die Erscheinungen des Kontrastes darauf zurück, dass wie er meint, beim Vergleichen die Unterschiede zweier Empfindungen deutlicher hervortreten. Ebenso soll es bei den komplementären Nachbildern sein. Wenn man zuerst auf Rot und danach auf Weiß sieht, so tritt das im Weiß enthaltene Grün deutlicher hervor, während das Rot zurückbleibt. Plateau ist dem gegenüber der Ansicht, dass eine »moralische Ursache« zur Erklärung der Erscheinung nicht ausreiche; Hering hätte gesagt eine »spiritualistische«. Dass eine wirkliche Affektion der Netzhaut zur Erklärung der Nachbilder angenommen werden muss, geht für Plateau schon aus der Beobachtung hervor, dass dasselbe Nachbild in verschiedenen Entfernungen gesehen, verschiedene Größen zeige. Dass auch das letztere später durch eine »moralische Ursache« erklärt werden würde, hätte er sich danach nicht träumen lassen.

Einzigartig steht Brewster[2]) mit seiner Ansicht da, dass die farbigen Nachbilder ähnlich wie die harmonischen Töne (Teiltöne) mit ihrem Grundton so mit dem primären Farbeneindruck gleichzeitig existieren. Das grüne Nachbild einer auf Weiß liegenden roten Fläche verbindet sich mit dem primären roten Bilde und macht dieses weißlicher. Grün und Rot streben nach Weiß. Plateau erwidert hiergegen, dass wenn Brewster das Rot auf Schwarz betrachtet hätte, es durch das Nachbild nicht weißlicher, sondern dunkler geworden sein würde. So richtig dies ist, so wenig stichhaltig ist das Argument gegen die selbständige Existenz der Nach-

1) cf. Plateau a. a. O. 31.
2) Vergl. Philosophical Magazine 1834, vol. IV; Plateau a. a. O. 33.

bilder, das hierin liegen soll; Plateau meint, bei simultanen Eindrücken müssten sich die Helligkeiten summieren, wie die äußeren Lichter. Das ist durchaus nicht nötig. Besteht eine helle und eine dunkle Empfindung so nebeneinander, dass beide zugleich im Bewusstsein wirksam sind, so ist die Wirkung für den Gesamteindruck von vornherein überhaupt nicht vorauszuwissen, wenn aber eine Annahme darüber gemacht werden soll, so ist viel wahrscheinlicher, dass ein mittlerer Eindruck entsteht, als dass die hellere und dunklere Empfindung sich zu einer noch helleren addieren. Auch die Erscheinung, dass in einem Zimmer mit hellfarbigen Möbeln, bei gutem Sonnenschein die schattenhaften Partieen in den Komplementärfarben auftreten, hatte Brewster für sich angeführt. Plateau macht richtig darauf aufmerksam, dass es sich hier um ganz andere Dinge (Kontrasterscheinungen) handelt, welche mit den obigen überhaupt nicht verglichen werden können.

Gegenüber diesen ersten mehr flüchtig aufgerafften als methodisch entwickelten Ausführungen bedeuten die sorgsamen Untersuchungen Plateaus und Fechners einen wesentlichen Fortschritt. Plateau kann man, wie schon Jurin, als Vorläufer der Heringschen Anschauungen ansehen. Er hat seine Ansichten in vier Sätzen niedergelegt, die er der Reihe nach entwickelt. Der erste ist, dass die »zufälligen Farben« die Folge einer besonderen Veränderung des Organs sein müssen, durch welche spontan eine neue Empfindung erzeugt wird. Plateau drückt mit diesem Satze den Thatbestand, wie er der unmittelbaren Beobachtung der Nachbilder sich enthüllt, glücklich aus. Die Nachbilder sind von ihm richtig als besondere Empfindungen aufgefasst, deren Ursache nicht in der primären Reizung sondern in einer sekundären Folge derselben gesucht werden muss. Deshalb sind die »zufälligen

Farben« von der Erscheinung der Nachdauer der Eindrücke (persistance des impressions), den positiven Nachbildern, scharf zu trennen. Der Farbenkreisel und die Verschmelzung der Sektoren beruht nach ihm auf der Nachdauer der Eindrücke. Lässt man eine Scheibe von 20 gleichen Sektoren, von denen die Hälfte schwarz, die andere rot ist, in schnelle Bewegung geraten, so erscheint dieselbe in gleichförmigem Dunkelrot. Dies ist die Folge der Nachdauer der Reize. Auch solche Scheibe giebt bei längerem Fixieren ein grünes Nachbild. Die positiven Nachbilder, auf welche Plateau nach damals hergebrachter Art die Verschmelzung der Sektoren fälschlich zurückführt, bestehen also nach ihm neben der Entwicklung der negativen. Es führt dies zu dem zweiten Satz, der lautet: Dem zufälligen Bild geht stets die Fortdauer des primitiven Bildes vorher. Der Satz will zugleich betonen, dass erst durch längere Fixation, also bei längerer Fortdauer eines primären Eindrucks, eine sekundäre Empfindung entsteht. Der dritte Satz geht zur Erklärung der Erscheinung über. Er behauptet, dass der zufällige Eindruck von Natur dem direkten entgegengesetzt ist, ähnlich wie bei Hering die Assimilation der Dissimilation des Reizes antagonistisch gegenübersteht. Der Satz folgt zunächst aus dem Umstand, dass die Nachbilder von Dunkel hell sind und umgekehrt, und dass die Nachbilder der Farben die Komplementärfarbe zeigen. Plateau glaubt diesen Nachweis noch mehr stützen zu müssen. Er deduciert, wenn zwei Komplementärfarben kombiniert werden, so geben sie Weiß; die Nachbilder zweier Komplementärfarben sind wieder komplementär. Dieselben sind den direkten Eindrücken entgegengesetzt, die Folge ihrer Kombinierung muss daher ebenfalls die entgegengesetzte, also Schwarz sein. Plateau findet dies im Versuch bestätigt. Er legte zwei Quadrate, ein violettes und ein orangefarbenes, nebeneinander und fixierte

abwechselnd ein auf jedem befindliches Pünktchen. Als Nachbild erschien ihm ein mittleres schwarzes Quadrat, von zwei komplementärfarbigen Nachbildern flankiert. Dass das Schwarz, was ihm erschien, nicht so ganz deutlich gewesen sein kann, sieht man aus dem Umstande, dass er bei Anstellung desselben Versuches mit Blau und Gelb Grün zu sehen glaubte, weil ihm dies als die natürliche Mischung von Gelb und Blau erschien. Thatsächlich sieht man auch nicht Schwarz, sondern man sieht die Grundfarbe verschleiert und entsättigt, der Eindruck ist dabei, wenn man die Quadrate auf einen hellen Grund legt, heller als vorher.

Hätte Plateau es unterlassen, die näheren Ausführungen zu geben, so würden seine drei Sätze heute noch, zumal von den Anhängern der Heringschen Theorie anerkannt werden können. Plateau hat dann noch versucht, die Natur des entgegengesetzten Prozesses näher zu bestimmen, und zwar, wie dies für seine Zeit natürlich ist, in physikalischer Weise. Die zufälligen Farben beruhen auf einer Reaktion der Netzhaut, die nach der Reizung zuerst wieder zur Ruhe gelangt und dann in einen entgegengesetzten Zustand übergeht, offenbar wie eine entspannte Feder eine entgegengesetzte Bewegung macht. Während des primären Eindrucks widersteht die Netzhaut demselben, so lautet ein anderer Ausdruck, dieser Widerstand wächst mit der Länge der Dauer der Einwirkung; dementsprechend wächst dann auch die Reaktion (das Nachbild). Mit dem progressiven Widerstand ist zugleich eine progressive Abschwächung des Lichteindrucks verbunden; es zeigt sich dies in der Abnahme der Helligkeit eines Objekts bei fortdauernder Betrachtung. Je größer der Widerstand, desto größer und schneller die Reaktion, die in Oscillationen verläuft, die freilich nicht ganz regelmäßig sind und nach Plateau von den Beobachtern verschieden geschildert werden. Plateau fasst

seine Erörterungen folgendermaßen zusammen: »Wenn die Netzhaut der Wirkung von Strahlen irgend einer Farbe ausgesetzt wird, widerstrebt sie dieser Wirkung und strebt, den normalen Zustand mit mehr und mehr wachsender Kraft wiederzugewinnen. Wenn sie dann plötzlich der erregenden Ursache entzogen wird, kehrt sie zum normalen Zustand durch eine oscillatorische Bewegung zurück, die um so stärker ist, je länger die vorhergehende Einwirkung gedauert hat, eine Bewegung, durch welche der Eindruck zuerst vom positiven Zustand in den negativen übergeht und die dann in unregelmäßiger Weise fortfährt zu oscillieren, wobei sie sich abschwächt, indem bald nur ein Erscheinen und Verschwinden (des Nachbildes) stattfindet, bald ein Übergang vom positiven in den negativen Zustand und umgekehrt.«

Wir haben bereits bemerkt, dass die Hauptsätze der Lehre Plateaus mit der von Hering vertretenen Richtung Ähnlichkeit zeigen, dass aber die physikalische Ausführung seiner antagonistischen Hypothese heute nicht mehr genügt. Plateau gab seinem Gegner Fechner, dem Hauptvertreter der Ermüdungstheorie, aber noch andere Blößen. Es ist von Wichtigkeit zu sehen, worin die Schwäche der Lehre Plateaus besteht. Sein Argument, dass die komplementären Nachbilder in der Superposition Schwarz geben müssen, weil die komplementären Farben objektiv gemischt Weiß geben und die subjektiven Farben den objektiven entgegengesetzt seien, leidet an dem wesentlichen Mangel, dass hier die subjektiven und objektiven Verhältnisse vollständig miteinander vermengt werden. Aus Plateaus eigener Theorie folgt nur, dass bei der successiven Einwirkung der komplementären Farben zwei den primären entgegengesetzte, also wieder zu komplementären Farbenempfindungen führende Zustände der Netzhaut hervorgehen. Wenn diese nun deshalb die Schwarz-Empfin-

dung horvorbringen sollen, weil die direkte Mischung von komplementärem Licht die Weiß-Empfindung giebt, so muss angenommen werden, dass die Weiß-Empfindung aus den den kombinierten Lichtern (Blau und Gelb etc.) entsprechenden Farbenempfindungen besteht, und es ist der Sprung gemacht, dass nach Analogie der objektiven Mischung komplementärer Lichter zu Weiß auf die subjektive Mischung der den Nachbildern entsprechenden Empfindungen zu Schwarz geschlossen wird. Dieser Schluss richtet sich schon dadurch von selbst, dass ja die Empfindungen, um die es sich bei der objektiven Mischung handeln würde, dieselben sind, um die es sich bei der subjektiven Mischung handelt. Es hätte daher der von Fechner angeführten Thatsache, dass bei Betrachtung derselben Farben auf weißem Grunde eine hellere Empfindung entsteht, gar nicht einmal bedurft, um die ganze Betrachtungsart als unzureichend hinzustellen. Ein ähnlicher Fehler der Methode Plateaus liegt in Folgendem: Ein roter Streifen auf Schwarz fixiert und auf Rot gesehen, giebt ein schwärzliches, dunkles Bild. Plateau schließt, dass die grüne subjektive Farbe die objektive komplementäre Farbe zerstöre. Fechner konstatiert dem gegenüber wieder richtig, dass wenn der rote Streifen auf Weiß fixiert wird, eine scheinbare Verstärkung des Lichtes eintritt und der subjektive Fleck weißlich gesehen wird. Neben der thatsächlichen Unzulänglichkeit steht aber auch hier wieder der Fehler der Methode, der zwischen subjektiven und objektiven Vorgängen nicht scharf scheidet.

Diesen Mängeln der Theorie Plateaus gegenüber hatte Fechner bei der Neubegründung der Ermüdungstheorie einen leichten Stand. Am meisten Schwierigkeit bot ihm die Thatsache, dass die Nachbilder nicht nur auf schwarzem Grunde, sondern auch im absolut Dunkeln auftreten. Plateau hatte

dies richtig als für die Oscillation sprechend angesehen. Die Auskunft Fechners ist bekannt. Es ist das sogenannte Eigenlicht der Netzhaut. Fechner konstatiert in der entsprechenden Ausführung[1] zunächst, dass es Lichtempfindungen auch ohne äußere Lichteinwirkung giebt. Als Beispiel führt er die Druckfiguren Purkinjes und das Lichtchaos im absolut Dunkeln an. Hierbei ist keine »objektive Lichtmaterie im Auge thätig« (S. 517). »Dieselbe organische Energie des Auges«, die auf äußeres Licht reagiert, »ist auch fähig, auf manche andere Weise von innen aus angeregt zu werden.« Die Netzhaut, so nimmt Fechner an, wird nach längerer Einwirkung einer Farbe für einige Zeit unfähiger, auf das Ursächliche dieser Farbe zu reagieren, dagegen um so fähiger für die übrigen Farbenreaktionen, »sei übrigens das Ursächliche, was das Auge zur Farbe anregen will», in oder außer dem Auge (S. 518). Es erscheint daher das komplementäre Nachbild eines farbigen Gegenstandes, den man auf schwarzem Grunde betrachtet hat, dunkler als der übrige Grund des Auges, »als ob das innere Licht sich eben so in einen empfundenen und nicht empfundenen Teil zerlegte, als bei offenem Auge das äußerliche.« Das die Annahme der Ermüdungstheorie. Fechner fügt hinzu, er sehe nicht ein, wie die »neue Theorie« Plateaus, welche die Komplementärfarben durch eine positive Lichtentwicklung nach vorausgegangener anderer Lichtempfindung erklärt, bei diesem Versuche etwas anderes erwarten könne, »als gerade umgekehrt ein helles Farbenbild im dunkel bleibenden Grund des Auges.« Das heißt der Theorie Plateaus doch wohl Unrecht thun. Eine positive Lichtempfindung braucht doch nicht unter allen Umständen

1) Über die subjektiven Komplementärfarben in Poggendorfs Annalen, Bd. 44, 1838.

eine helle zu sein. Die Oscillation führt von der Einwirkung einer hellen auf Schwarz betrachteten Farbe zu einer dunkeln Komplementärfarbe auf etwas aufgehelltem Grunde.

Was die eigene Theorie Fechners betrifft, so ist die Heranziehung des Eigenlichtes zur Erklärung der Nachbilderscheinungen im geschlossenen Auge ein Auskunftsmittel, das einmal zugelassen den Erscheinungen im Sinne seiner Theorie gerecht wird. Aber dass es sich hier überall nur um ein Verlegenheitsmittel gehandelt hat, ist von keinem Unbefangenen zu leugnen. Die Art der Erscheinungen würde an sich nie zu einer derartigen Annahme führen. Wer das Eigenlicht der Netzhaut beobachtet hat, kennt es als eine wenig konstante und auffallend lichtschwache Erscheinung, die in unregelmäßiger Weise und meist unbeachtet nicht bloß im geschlossenen Auge und im Dunkeln, sondern auch bei offenen Augen und verschiedenster Beleuchtung stets gleichartig auftritt. Lichtpunkte, Lichtsterne, Lichtnebel, aufleuchtend und vergehend, im geschlossenen Auge sich ab und zu verstärkend, um wieder zu verschwinden, im offenen Auge neben der regulären Gesichtswahrnehmung meist in unbestimmter Lokalisation sich behauptend, kurz eine Erscheinung, deren rein subjektiver Charakter dem ungeübtesten Beobachter sich aufdrängt, das ist das Eigenlicht der Netzhaut. Daneben die komplementärfarbigen Nachbilder: räumlich genau begrenzt, von oft überraschender Farbenpracht, von bestimmter Dauer und bestimmten Phasen, Erscheinungen, die in ihrer ganzen Art sich in nichts von den direkten Licht- und Farbenempfindungen unterscheiden und genau wie diese von Lichteinwirkungen bestimmter Dauer und Art abhängen. Diese beiden verschiedenen Reihen von Empfindungen sollen dieselbe Ursache haben. Das ist an sich unwahrscheinlich. Zur Erzeugung einer schönen und gesättigten Farbenempfindung

soll im einen Fall eine Reizung durch das entsprechende homogene Licht nötig sein, im anderen Fall ein innerer Reiz genügen, der im normalen Auge nur unbedeutende und unregelmäßige Lichtpunkte, im gänzlich dunkel-adaptierten Auge auch wallende, aber immer noch schwache Lichtnebel hervorbringt und er soll deshalb genügen, weil die Retinastellen, die von ihm getroffen werden, bereits ermüdet und leistungsunfähiger sind, als sie vorher waren. Ja, wenn die farbigen Nachbilder nur in Etwas dem Lichtchaos glichen, wenn nur eine noch so geringe Ähnlichkeit des Verlaufs beider Erscheinungen bestände. Es kommt aber noch ein Umstand hinzu, der den meisten Beobachtern bisher entgangen zu sein scheint, der aber leicht von jedermann bemerkt werden kann. Die eigentümlichen Erscheinungen des Eigenlichtes bestehen neben den farbigen Nachbildern munter weiter. Man kann leicht in und um den Nachbildern den ganz gleichmäßigen Lichtstaub bemerken. Ist dies so, so ist es um die inneren Reize als Ursache der Nachbilder im absolut Dunkeln schlimm bestellt. Die Leistungen einer solchen Ursache, an sich schon wunderbar genug, würden denn doch die vermeintlichen des Wassers von Lourdes bedeutend übersteigen. Denn wenn die Wirkung jener inneren Reize unter gewöhnlichen Umständen nichts ist, als die Eigenlichtempfindung, und nur um der Existenz dieser willen werden die inneren Ursachen überhaupt angenommen, so ist mit der Erzeugung dieser Eigenlichtempfindungen auch die Kraft jener Reize erschöpft. Sollen noch andere Wirkungen, die farbigen Nachbilder, zugleich auf ihnen beruhen, so haben diese im eigentlichen Sinne des Wortes überhaupt keine Ursache. Ich bin daher der Ansicht, dass das Eigenlicht aus der Theorie der Licht- und Farbenempfindung überhaupt zu entfernen ist, dass wir es bei ihm mit Erscheinungen zu thun

haben, die wie die Thaten der irregulären Freischärler neben den regulären Kriegsereignissen, als irreguläre Vorgänge neben der regulären Licht- und Farbenperception hergehen. Man sieht die inneren Reize allgemein als solche Vorgänge an, welche mit der Ernährung des Organs in engster Beziehung stehen. Es wäre an und für sich eine merkwürdige Ökonomie des sonst so zweckmäßigen Organismus, wenn die Ernährungsvorgänge außer zu den kaum bemerkbaren, nie störenden und stets gleichen Erscheinungen des Lichtchaos noch zu Farbenempfindungen Veranlassung würden, die den zur Wahrnehmung der Objekte dienlichen gleichen, aber mit dieser Wahrnehmung nicht das Geringste zu thun haben. Auch die anderen Sinnesorgane werden ohne besondere Teilnahme des Bewusstseins ernährt. Danach enthält die Fechnersche Ermüdungstheorie schon in sich selbst Schwierigkeiten genug. Sie ist trotzdem zu fast allgemeiner Anerkennung gelangt und erfreut sich noch heute neben Herings später zu erörternden Anschauungen weiter Verbreitung.

Dazu hat nicht am wenigsten der Umstand geführt, dass sowohl Helmholtz als Wundt die Fechnersche Theorie annahmen, und zwar Helmholtz ohne jeden Vorbehalt, Wundt dagegen unter Berücksichtigung einer von Brücke[1]) herrührenden Unterscheidung der komplementären Nachbilder in positive und negative. Wundt schließt seine Erörterungen der Nachbilder mit folgender Zusammenfassung: »Im ganzen beruhen somit die Nachbilderscheinungen hauptsächlich auf drei Momenten, die in verschiedenen Fällen bald gemischt, bald von einander isoliert zur Geltung kommen: erstens auf dem direkt durch den Lichtreiz hervorgerufenen Erregungsvorgang, der den Reiz immer merklich überdauert,

1) Brücke in Moleschotts Untersuchungen, Bd. IX.

zweitens auf der veränderten Reizbarkeit der Netzhaut, welche, nachdem der Erregungsvorgang vorüber ist, eine kürzere oder längere Zeit zurückbleibt; dazu kommt dann drittens noch unter bestimmten, unten näher zu erörternden Bedingungen der Kontrast der Empfindungen. Die veränderte Reizbarkeit verursacht unter allen Umständen das komplementäre Nachbild, sei es negativ oder positiv; das unmittelbare Fortwirken der Erregung dagegen kommt als gleichfarbiges Nachbild zur Erscheinung, der Kontrast bestimmt hauptsächlich die größere oder geringere Intensität, in welcher sich die Nachwirkungen der Erregung geltend machen.«[1]) Hiernach beruhen die uns allein beschäftigenden negativen Nachbilder auf »der veränderten Reizbarkeit der Netzhaut«; diese Veränderung der Reizbarkeit ist aber eine Folge eines anhaltenden früheren Reizes, ist Ermüdung; die positiven Nachbilder, oder die früher mit persistance des impressions bezeichneten Erscheinungen dagegen beruhen auf der Fortdauer der Reizwirkung.

Die positiven und negativen Nachbilder sind ebenso verschieden in ihren Ursachen wie in ihrer Erscheinungsweise. Die positiven setzen das Wahrnehmungsbild unmittelbar fort, sie sind von flüchtiger Natur und kurzer Dauer und erst bei größerer Übung häufig zu bemerken, die negativen drängen sich bei stärkeren und länger anhaltenden Einwirkungen von selbst auf, sie sind am leichtesten zu beobachten, wenn man sie absichtlich und künstlich erzeugt, ihre Dauer ist dann eine verhältnismäßig lange, man kann sie bequem studieren, sie sind von dem Wahrnehmungsbild durch sich selbst leicht unterscheidbar, sie treten als etwas neben dem Wahrnehmungsbild Existierendes und auch durch die Zeitverhältnisse von ihm gesondert auf.

---

1) Wundt, Grundzüge der phys. Psych., IV. Aufl., Bd. I, S. 515.

Eine Verwechslung zwischen positiven und negativen Nachbildern ist daher unmöglich. Nun werden die negativen auf längerer Reizeinwirkung beruhenden Nachbilder deshalb negativ genannt, weil sie in den Verhältnissen ihrer Helligkeit und Farbigkeit den direkten Eindrücken gegenüber verändert, resp. komplementär sind. Dieser Sprachgebrauch ist daher nicht blos bequem, sondern im höchsten Grade sachlich angemessen. Dem schien es zu widersprechen, als Brücke nach dem Vorgang Purkinjes die Existenz von positiv komplementären Nachbildern nachweisen zu können meinte, Nachbildern also farbiger Objekte, die ihrer Entstehungsart nach genau den negativen gleichen, auch die komplementäre Farbe zeigen, dabei aber in ihrer Helligkeit dem ursprünglichen Eindrucke ähneln, in dieser Beziehung also nicht negativ, sondern positiv sind. Die Existenz positiver komplementärer Nachbilder würde den alten auch von uns angenommenen Sprachgebrauch unmöglich machen. Allein bereits Helmholtz[1]) hat die, wie ich glaube, richtige Meinung geäußert, dass es sich bei diesen hier nicht genauer zu untersuchenden Erscheinungen um eine Komplikation eines positiven Nachbildes mit einem negativen (komplementären) handelt. Wir bleiben daher bei der einfachen Bezeichnung aller auf längerer Einwirkung beruhenden und von dem Wahrnehmungsbild inhaltlich und zeitlich unterscheidbaren Nachbilder als negativer.

Ein anderer Grund, welcher der Ermüdungstheorie Fechners zu Gute gekommen ist, ist die Bequemlichkeit, die sie für die allgemeine Theorie des Sehens mit sich bringt. Sind die Nachbilderscheinungen Ermüdungserscheinungen, so sind sie für das normale, unermüdete Sehen von Helligkeiten und Farben und dessen Theorie nicht weiter zu berücksichtigen.

---

1) H. Helmholtz, Handbuch der physiolog. Optik, I. Aufl., S. 384.

Man kann dann, wie Ebbinghaus es jüngst that, eine »Theorie des Farbensehens« begründen, ohne die Nachbilder auch nur zu erwähnen. Ferner, ist die Ermüdungstheorie Fechners richtig, so können die Nachbilder einen Wertmesser der Ermüdung der Perceptionsorgane durch die Erregung abgeben und lassen sich für die allgemeine Theorie der Nervenerregung verwerten. Es ist dies durch die Physiologen in umfassender Weise geschehen, und die Litteratur hierüber hat einen bedeutenden Umfang erreicht. Der Psychologe hätte freilich gegen die Art, wie dies geschehen, wie die subjektiv beobachtbaren psychischen Thatsachen in objektive Erregungsvorgänge umgerechnet worden sind, vieles einzuwenden. Allein wenn die Ermüdungstheorie, wie sich alsbald herausstellen wird, nicht einmal richtig ist, so fallen die bezüglichen physiologischen Folgerungen von selbst. Eine Auseinandersetzung aber zwischen Psychologie und Physiologie, subjektiver und objektiver Methode und deren Verhältnis, hat besser auf Gebieten zu erfolgen, wo die Auffassung der Thatsachen als solcher Zweifeln nicht ausgesetzt ist.

Ist die Ermüdungstheorie der Nachbilder richtig, so ist es unmöglich, dass die durch Fixation ermüdeten Netzhautstellen Leistungen vollbringen, welche denen der unermüdeten Partieen gleich sind. Hat dagegen die unmittelbare psychologische Auffassung Recht, wie sie oben geschildert ist, sind also die Nachbilder infolge der langen Fixation entstandene auf selbständigen physiologischen Prozessen beruhende, weiterbestehende Empfindungen, so muss sich dies an der Erhaltung der normalen Leistungsfähigkeit der in Thätigkeit gewesenen (»ermüdeten«) Stellen zeigen. Es ließ sich das durch den Versuch leicht entscheiden. Wenigstens das musste sich leicht auf experimentellem Wege ergeben, ob die der Ermüdungstheorie entgegengesetzte Anschauung überhaupt zulässig und

möglich war. Diesen Zweck verfolgten die ersten über diesen Gegenstand von mir im Sommerhalbjahr 1893 und Winterhalbjahr 1893/1894 gemachten Versuche. Sie stellten sich die Aufgabe, zu erproben, ob es möglich sei, nach Erzeugung eines Nachbildes auf einer Scheibe mit Hilfe derselben Netzhautteile, welche bei der Entstehung desselben in Anspruch genommen sind, eine Vergleichsscheibe so einzustellen, dass die Helligkeit derselben derjenigen scheinbaren Helligkeit gleich ist, welche durch die Entwicklung des Nachbildes (durch die Ermüdung) auf der erst fixierten Scheibe erzeugt wird.

Als Versuchspersonen beteiligten sich an diesen Arbeiten außer dem Verf. (M.) die Herren stud. phil. Voeste (V.) und Schneider (Schn.). Die Versuchsanordnung war eine sehr einfache. In einem Zimmer ohne direkte Tagessonne war ein Drehapparat von Jung[1]) (Heidelberg) aufgestellt, der gestattet, zwei variable Scheibenpaare nach Maxwell nebeneinander durch ein und dasselbe mit der Hand bewegte Triebrad in schnelle Rotation zu versetzen. Die Entfernung der Scheibenmittelpunkte beträgt 22 cm. Die Größe des Halbmessers der Scheiben war ca. 4 cm. Der Beobachter saß in einer solchen Entfernung von den Scheiben, dass der Augenabstand von denselben circa 1 m betrug. Die Wand hinter dem Scheibenapparat war mit schmutzig-dunkelm Wollstoff behängt. Der Beobachter hatte die erste (linke) Scheibe mit beiden Augen 20 Sekunden zu fixieren, sodann einen Blick auf die zweite Scheibe zu werfen und das Urteil, ob dieselbe ihm heller oder dunkler als die erste erschien, auszusprechen. Im Anfang waren die Versuchsscheiben gleich. Der Experimentierende setzte dann der zweiten (rechten) Scheibe je nach dem Urteil 10° Schwarz oder 10° Weiß hinzu, und der Versuch

1) Vergl. Fig. 1, S. 53.

wiederholte sich so lange, bis nach Überschreitung einer Gleichheitsperiode die Vergleichsscheibe dem ursprünglichen Urteil entgegengesetzt erschien. Die aufgefundenen Gleichheitswerte ergaben im Mittel diejenige Helligkeit, bei der die scheinbare Gleichheit vorhanden war. Es sei eine beliebige Rohtabelle zur Verdeutlichung angeführt.

Tab. I.

Versuchsperson V.

n	*v*	Urteil
180° w + 180° s	180° w + 180° s	dunkler.
id.	170° w + 190° s	dunkler.
id.	160° w + 200° s	gleich.
id.	150° w + 210° s	gleich.
id.	140° w + 220° s	gleich.
id.	130° w + 230° s	heller.

Unter *n* ist die Helligkeit der Normalscheibe, unter *v* diejenige der Vergleichsscheibe in Graden des benutzten Schwarz und Weiß angegeben.

Die Versuche zeigten sehr bald, dass eine derartige Vergleichung sehr leicht und sicher vor sich geht. Man könnte vielleicht einwenden, thatsächlich sei die Vergleichung gar nicht mit der Stelle des deutlichsten Sehens, also der ermüdeten Stelle, erfolgt. Fasse man einen Punkt nur kurz in das Auge, so sei das gleichbedeutend mit einem Darüberhinblicken; bei einem solchen sei es aber gar nicht abzusehen, ob der zu beurteilende Eindruck von der Stelle des deutlichsten Sehens herrühre oder in Wirklichkeit indirekt, also mit den unermüdeten Netzhautteilen aufgefasst sei. Bei solchem Einwand kann ein Anhänger der Ermüdungstheorie sich be-

ruhigen. Aber doch nur so lange, bis er den Versuch ohne Vorurteil wiederholt. Der Einwand ist nicht stichhaltig. Man kann die variable Vergleichsscheibe so lange in das Auge fassen, dass von einem Darüberhinblicken keine Rede sein kann. Wenn der Blick etwas zu lange darauf verweilt, sieht man die Scheibe sich im Sinne des Nachbilds verändern. Dann ist offenbar die für solche Versuche gegebene Zeit überschritten gewesen. Ehe dies eintritt, vergeht aber eine wohl bemerkbare und durchaus nicht minimale Zwischenzeit.

Die hauptsächlichsten Ergebnisse dieser Vorversuche zeigen die folgenden Tabellen. Dabei ist unter n der Helligkeitswert der konstanten Normalscheibe, unter v der gefundene Einstellungswert der Vergleichsscheibe und unter D die Differenz jener beiden Werte in Graden des Schwarz angegeben.

Tab. II.
Versuchsperson M.

n	v	D
360° w	240° w + 120° s	+ 120° s
270° w + 90° s	210° w + 150° s	+ 60° s
180° w + 180° s	140° w + 220° s	+ 40° s
90° w + 270° s	82° w + 278° s	+ 8° s

Tab. III.
Versuchsperson V.

n	v	D
360° w	284° w + 76° s	+ 76° s
270° w + 90° s	230° w + 130° s	+ 40° s
180° w + 180° s	170° w + 190° s	+ 10° s
90° w + 270° s	100° w + 260° s	— 10° s
360° s	117,5° w + 242,5° s	— 117,5° s

Tab. IV.
Versuchsperson Schn.

n	*v*	*D*
360° w	255° w + 105° s	+ 105° s
270° w + 90° s	230° w + 130° s	+ 40° s
180° w + 180° s	155° w + 205° s	+ 25° s
90° w + 270° s	100° w + 260° s	+ 10° s

An diesen Versuchen war zunächst allein der Umstand bemerkenswert, dass sie ohne irgend welche besondere Schwierigkeiten und Unsicherheit des Urteils auszuführen waren. Damit schien mir soviel sichergestellt, dass es unrichtig ist, ganz allgemein von einer Ermüdung der Netzhaut bei den Nachbildern zu sprechen. Eine ermüdete Netzhautstelle kann keine normalen Leistungen vollbringen. Es ist aber eine anscheinend normale Leistung, wenn das durch Fixation ermüdete Auge im Stande ist, eine variable Scheibe so einzustellen, dass deren Helligkeit der fixierten und durch die Fixation in ihrem Aussehen veränderten Scheibe gleich erscheint. Mir schien auch bewiesen, dass die Nachbilder, ihre Natur sei, welche es sei, nicht erst durch den reagierenden Reiz (der Vergleichsscheibe oder des Eigenlichts) entstehen, dass sie vielmehr, wie bereits Brewster annahm, sich während des inducierenden Reizes (während der Fixation) entwickeln und nun als Nachempfindung eine Zeit lang bestehen. Denn das im Augenblick der Vergleichung fehlende Nachbild stellt sich ja in bekannter Weise bei erneuter Fixation stets wieder ein und macht sich durch die Veränderung der Helligkeit der nunmehr fixierten Fläche bemerkbar. Die Ursache einer solchen Nachempfindung kann dann nur ein Reizvorgang sein, der die Leistungsfähigkeit der Netzhaut für ihre normale Thätigkeit unberührt lässt und neben dieser existiert.

Aber eine andere Erscheinung spiegelte sich in den Versuchsergebnissen ab, die gerade unter den vorhandenen Bedingungen besonders auffallen und zur näheren Untersuchung herausfordern musste. Die Zeit der Fixation war, wie oben bemerkt, bei den Versuchen ungefähr, wenn auch nicht mit peinlicher Genauigkeit, mit Hilfe einer dabei in Verwendung gekommenen Sekundenuhr gleich erhalten. Trotzdem zeigten sich in den Differenzen der Helligkeiten der Normal- und Versuchsscheibe auffallende Unterschiede. Je dunkler die Normalscheibe schon von Anfang an war, um so geringer war der notwendige Zusatz von Schwarz, um die Vergleichsscheibe nach Verlauf einer Fixation von 20 Sekunden ihr gleich erscheinen zu lassen. Der Ermüdungstheorie hätte es entsprochen zu sagen, je geringer die Intensität eines Eindrucks, um so geringer die durch denselben in gleicher Zeit erzeugte Ermüdung. Soweit hatte die Erscheinung nichts Auffallendes. Näherte sich aber die Normalscheibe dem Schwarz, so war eine Verminderung der durch die Fixation erzeugten Helligkeit überhaupt nicht mehr zu konstatieren. Vielmehr trat eine Umkehrung der Erscheinungen ein. Man musste der Vergleichsscheibe Weiß zusetzen, damit sie den gleichen Eindruck machte, wie die 20 Sekunden lang fixierte Scheibe. Das Organ hatte sich also durch die angebliche Ermüdung scheinbar erholt, in seiner Reizbarkeit verbessert. Diese Erscheinung trat bei der Versuchsperson V. schon ein bei einer Helligkeit der Normalscheibe, die immerhin groß genug war, dass sie eine »Ermüdung« bei so langer Fixation hätte erzielen müssen. Hier versagte jede Erklärung durch das Eigenlicht. Dass ein schwarzer Fleck auf weißem Grunde sich bei der Fixation aufhellt, mochte durch die verhältnismäßig größere Erregbarkeit der ungereizt gebliebenen Partieen mit Hilfe des Eigenlichts sich erklären lassen. Aber ein noch gar nicht sehr

dunkles Grau, das eine geraume Zeit fixiert war, musste doch ebenso wie ein helleres Grau im Stande sein, die Verdunklung bei der Fixation zu erzeugen, und wenn an Stelle dessen eine Aufhellung eintrat, so lag hier offenbar — bei der sonstigen Gleichheit aller Versuchsbedingungen — noch ein Faktor vor, der bei der Erforschung dieser Verhältnisse noch nicht hinreichend berücksichtigt sein konnte.

Das Problem, wie es sich von selbst entwickelte, war: Da eine fixierte Helligkeit durch die Fixation sowohl heller als dunkler erscheinen kann, fragt es sich, wovon das eine und das andere abhängt und in welchen Grenzen eine Aufhellung oder Verdunklung einer fixierten Helligkeit eintritt?

Bei den eben beschriebenen Versuchen waren die Scheiben vor einer gleichmäßig dunkelgrauen Wand aufgestellt. Diese Wand war einer gewissen Helligkeit gleich zu setzen, die also dieselbe blieb, während die Helligkeiten der fixierten Scheiben zwischen Weiß und Schwarz variiert wurden. Was sich bei den so vorhandenen Versuchsbedingungen änderte, war allein das Helligkeitsverhältnis zwischen Scheibe und Hintergrund. Mit diesem Verhältnis schien also auch der Einfluss des Fixierens auf die scheinbare Helligkeit der fixierten Scheibe (*D*) sich zu ändern. Der Gedanke lag nahe, dass der noch unberücksichtigt gebliebene Umstand, von welchem nicht blos die Größe der Veränderung verschiedener eine gleiche Zeit lang fixierter Scheiben, sondern auch die Richtung dieser Veränderung (ob Aufhellung oder Verdunklung) abhänge, nichts anderes als der Hintergrund und seine Helligkeit sei, auf welcher eine fixierte Helligkeit sich befindet. War es ja doch schon lange bekannt, dass eine schwarze Fläche auf weißem Hintergrunde sich aufhellt, eine weiße auf schwarzem Hintergrunde dagegen sich verdunkelt. Wie ist es bei mittleren Helligkeiten? Gilt etwa der Satz allgemein, dass eine

hellere Fläche auf dunklerem Grunde sich infolge längeren Fixierens verdunkelt, eine dunklere auf hellerem Grunde sich aufhellt? Oder: welche Helligkeit muss eine Fläche haben, damit die Aufhellung derselben beim Fixieren in eine Verdunklung übergeht und umgekehrt; welche Helligkeit etwa ihr Hintergrund?

Nachdem die Frage so gestellt war, war die Antwort mit den einfachsten Mitteln zu finden. Ich stellte mir einen weißen, einen schwarzen und einen grauen Hintergrund her, auf diesem wurde eine kleine schwarze, weiße und graue Scheibe fixiert und das Nachbild wieder auf schwarzem, weißem und grauem Hintergrund entworfen. Die kleine graue Scheibe war variabel und ließ alle Möglichkeiten zu, die zwischen dem benutzten Schwarz und Weiß lagen, da sie aus demselben Papier gebildet war. Auch ein variabler grauer Hintergrund wurde benutzt. Es zeigte sich ganz allgemein, dass irgend eine Helligkeit, auf einem dunkleren Grunde betrachtet, ein verdunkelndes Nachbild erzeugt, und dass umgekehrt eine Helligkeit, die dunkler ist als die umgebende, ein aufhellendes Nachbild hervorbringt, welches auch die Helligkeiten seien, auf welchen ein solches Nachbild gesehen wird. Dass eine schwarze Scheibe auf einer lichtlosen Röhre gesehen sich noch verdunkelt, ist schon mehrfach beobachtet worden. Hat man eine graue Unterlage und stellt dasselbe Grau auf einer kleinen Scheibe her, die man auf der Unterlage fixieren kann, so genügt eine kleine Bewegung in der Richtung der Lichtquelle, um die kleine Scheibe heller werden zu lassen als den Grund, eine kleine Bewegung entgegengesetzter Richtung, um dieselbe etwas zu verdunkeln (infolge der mit dem Einfallswinkel sich ändernden Helligkeit). Diese kleinen Veränderungen der Helligkeit der fixierten Scheibe gegenüber dem Grunde genügen, um das Nachbild aus einem aufhellen-

den zu einem verdunkelnden werden zu lassen und umgekehrt. Es hängt also ganz allein von dem Hintergrund ab, ob ein Nachbild heller oder dunkler als die fixierte Helligkeit wird. Ist der Hintergrund auch nur um ein Weniges dunkler, so wird das Nachbild verdunkelnd, ist er auch nur um ein Weniges heller, so ist es aufhellend.

Und endlich, welches auch die Helligkeit einer Fläche sei, auf welcher sich ein durch vorherige Fixation entstandenes Nachbild entwickelt, auf welcher es gesehen wird, es erhellt, wenn es ein erhellendes war, es verdunkelt, wenn es ein verdunkelndes war. Es hängt also auch lediglich von dem Hintergrunde, auf dem ein Nachbild zuerst gewonnen wird, ab, ob eine reagierende Helligkeit im Sinne ihrer Vermehrung oder Verminderung beeinflusst wird. Und alles dies gilt ganz allgemein.

Bei so gesetzmäßigen Thatsachen wäre es zu verwundern gewesen, wenn dieselben einem so unermüdlichen und feinen Beobachter, wie Fechner es war, ganz entgangen wären. Seine diesbezüglichen Mitteilungen haben aber, so weit ich sehe, fast keine Beachtung gefunden, wohl aus dem Grunde, weil er selbst seinen Beobachtungen keinen Einfluss auf seine Theorie der Nachbilder eingeräumt hat. Es erscheint mir angemessen, die Ausführungen Fechners im Wortlaut wiederzugeben[1]. Er bemerkt einleitend: »Das Vorige hat gezeigt, dass eine unterlassene Berücksichtigung der Verschiedenheit, welche die Beschaffenheit des Grundes in die Erscheinung des Nachbildes bringt, mehrfache Fehlschlüsse veranlasst hat. Es hat mir daher nicht überflüssig geschienen, zur Begründung einer sichern Induktion, das Thatsächliche in diesem Bezuge durch eine hinreichende

1) Fechner, Poggend. Annalen 1838, Bd. 44, S. 530 ff.

Abänderung der Versuche festzustellen. Als Objekte dienten kleine Flächen farbigen Papiers (beispielsweise grünes) in der Größe von $^1/_2$ bis 1 Quadratzoll, quadratisch, rechteckig oder rund, was das Wesentliche der Erscheinung nicht abändert. Als Grund diente ein Bogen weißes, schwarzes oder farbiges Papier. Alle Beobachtungen wurden in verbreitetem Tageslichte angestellt. Um beim Übergange vom primären Eindruck zum Nachbilde das Auge unermüdet zu erhalten (was übrigens bei dieser Klasse der subjektiven Erscheinungen unwesentlich ist), wurde das an einem Faden befestigte Objekt vom Grunde schnell weggezogen, wenn die Betrachtung des Nachbildes gegen denselben Grund geschehen sollte, auf welchem das Objekt betrachtet worden war, oder im Gegenfalle ein anderer Grund über das Objekt hingeschoben.« Es folgen dann nach einer kurzen Zwischenbemerkung die Ergebnisse.

»I. Grünes Objekt, betrachtet auf weißem Grunde.

1. Nachbild auf weißem Grunde: rot, heller als der Grund; dieser mit einem deutlichen grünen Scheine überzogen. Je dunkler das Farbenobjekt, um so heller, aber auch weißlicher, weniger farbig das Nachbild.

2. Nachbild auf schwarzem Grunde: rot, heller als der Grund, doch viel dunkler, als wenn, wie unter Nr. 1, das Nachbild auf weißem Grunde betrachtet wird, wovon man sich gut überzeugen kann, wenn man das Nachbild halb auf Schwarz, halb auf Weiß fallen lässt. Je dunkler das grüne Objekt, um so heller und weißlicher das rote Nachbild. Ein nicht sehr deutlicher grüner Schein überzieht den schwarzen Grund um das Nachbild.

3. Nachbild auf grünem Grunde: weißlich, heller als der Grund, dieser von erhöhtem Grün.

4. Nachbild auf rotem Grunde: rot, lebhafter und heller als der Grund; aber keineswegs weißlich wie unter Nr. 3, wo die Färbung mehr verschwindet, dagegen sie bei Nr. 4 einen intensiveren Eindruck macht.

II. Grünes Objekt, betrachtet auf schwarzem Grunde.

1. Nachbild auf weißem Grunde: rot, dunkler als der Grund, um so dunkler, je heller das Objekt war. Der Grund um das Nachbild deutlich grün überlaufen.

2. Nachbild auf schwarzem Grunde: ein vertieftes Schwarz mit roter Nüance, je heller das Objekt. Der minder dunkle Grund undeutlich mit Grün überlaufen.

3. Nachbild auf grünem Grunde: schwärzlich; der grüne Grund sehr licht und hell.

4. Nachbild auf rotem Grunde: tiefes reines Rot, dunkler als der Grund, welcher weißlich überlaufen erscheint.

III. Weißes Objekt, auf einem grünen Grunde betrachtet.

1. Nachbild auf weißem Grunde: Schwärzlich-grün, dunkler als der lebhaft rot erscheinende Grund. Dieser Versuch ist wegen der starken subjektiven Färbung der ganzen Ausdehnung des Grundes sehr frappant. Wenn ich ein kleines weißes Papierfragment in die Mitte eines ganzen grünen Papierbogens lege, und das Nachbild dann auf die Mitte eines gleich großen weißen Papierbogens fallen lasse, so erscheint der ganze weiße Bogen um das Nachbild lebhaft rot, und zwar über die ganze Fläche gleichmäßig rot, abgesehen von einem helleren Schimmer in der nächsten Umgebung des Nachbildes, der um so deutlicher ist, je dunkler die objektive Farbe war. Übrigens findet diese Gleichförmigkeit in der ganzen Ausdehnung des Grundes auch in den Fällen statt, wo, wie unter I. und II., derselbe

sich blos mit einem weniger deutlichen Farbenscheine überzieht.

2. Nachbild auf schwarzem Grunde: grün, dunkler als der Grund, welcher mit deutlichem Rot überlaufen erscheint.

3. Nachbild auf grünem Grunde: sehr reines Grün, dunkler als der Grund, welcher weißlich überlaufen erscheint.

4. Nachbild auf rotem Grunde: schwärzlich, oder, wenn das Rot durch viel beigemischtes Weiß sehr hell ist, schwärzlich-grün, dunkler als der Grund; der ganze Grund von sehr lebhaftem reinem Rot. Man kann sich, wie es scheint, auf diesem Wege den Eindruck einer Farbe ohne beigemischtes Weiß verschaffen.

IV. Schwarzes Objekt auf grünem Grunde betrachtet.

1. Nachbild auf weißem Grunde: blendendes Weißlich-grün, heller als der Grund. Dieser ist stark rot gefärbt, was ebenfalls einen sehr frappanten Eindruck gewährt.

2. Nachbild auf schwarzem Grunde: ein im Verhältnis zum Grunde sehr helles Weißlich-grün; der Grund stark rot überlaufen.

3. Nachbild auf grünem Grunde: ein sehr lichtes weißliches Grün, heller als der schwärzlich überlaufene Grund.

4. Nachbild auf rotem Grunde: weißlich, heller als der Grund, welcher von sehr reinem Rot erscheint.

V. Grünes Objekt, auf rotem Grund betrachtet.

1. Nachbild auf weißem Grunde: rot, der Grund stark grün.

2. Nachbild auf schwarzem Grunde: rot, der Grund grün überlaufen.

3. Nachbild auf grünem Grunde: schwärzlich oder weißlich, je nachdem das objektive Grün heller oder dunkler als

der objektive rote Grund war; jedenfalls mit einer Nüance ins Rote, der Grund sehr reines Grün.

4. Nachbild auf rotem Grunde: reines Rot, heller oder dunkler als der Grund, welcher graulich oder weißlich überlaufen erscheint, je nachdem das objektive Grün dunkler oder heller als der Grund war, auf dem es betrachtet wurde. Auch dieser Versuch ist sehr geeignet, sich den Eindruck reiner Farben zu verschaffen.

Es geht aus dieser Zusammenstellung hervor:

1. Dass allgemein das subjektive Nachbild heller oder dunkler erscheint als der Grund, auf dem man es betrachtet, je nachdem das Objekt heller oder dunkler ist, als der Grund, auf dem man dasselbe anschaut.

2. Dass um das Nachbild sich jederzeit die Komplementärfarbe des Nachbildes, also die ursprünglich angeschaute, entwickelt.«

Man sieht, die Beobachtungen Fechners stützen sich im Grunde auf ein zu geringes Material. Er hat die Grauabstufungen nicht berücksichtigt, auch über die Helligkeiten seiner Farben keine bestimmten Feststellungen gemacht. Trotzdem ist sein allgemeiner Schluss richtig, dass allgemein das subjektive Nachbild heller oder dunkler erscheint als der Grund, auf dem man es betrachtet, je nachdem das Objekt dunkler resp. heller ist (so muss es heißen), als der Grund, auf dem man dasselbe anschaut. Ich möchte diesen Satz das Fechnersche Gesetz des Helligkeitswertes der Nachbilder nennen, ein Gesetz, das freilich keine mathematische Fassung gewonnen hat, indes in seiner Allgemeingültigkeit jedenfalls mehr den Namen eines Gesetzes verdient als das berühmte Fechner-Webersche.

Dass das Gesetz ganz allgemein gilt, bestätigt sich auch, wenn man an Stelle der zwei bis jetzt benutzten Helligkeiten

drei oder mehrere hintereinander so zur Aufstellung bringt, dass die hintere stets die vordere überragt. In den folgenden Tabellen sind unter *H* derartige Anordnungen, unter *U* die nach Fixation über die Helligkeit der Nachbilder gefällten Urteile angegeben, wobei es wieder gleichgültig ist, ob die Nachbilder im dunkeln Gesichtsfeld oder auf irgend einer äußeren Fläche betrachtet werden.

Tab. V.

	H	U
I.	1. Kleine weiße Scheibe 2. Größere graue Scheibe 3. Schwarzer Hintergrund	dunkel heller ganz hell
II.	1. Kleine weiße Scheibe 2. Größere graue Scheibe 3. Weißer Hintergrund	dunkel hell dunkel
III.	1. Kleine schwarze Scheibe 2. Größere graue Scheibe: a. 90° s. b. 300° s 3. Weißer Hintergrund	am hellsten a. hell b. s. hell dunkel
IV.	1. Schwarze kleine Scheibe 2. Größere graue Scheibe 3. Schwarzer Hintergrund	hell dunkel hell
V.	1. Kleine graue Scheibe (90° s) 2. Größere weiße Scheibe 3. Schwarzer Hintergrund	dunkel ganz dunkel hell

Die Urteile für den Hintergrund sind wieder von dem Hintergrund abhängig. Auffallend bei diesen Beobachtungen

ist, wie verschieden der Zeit nach die einzelnen Nachbilder in ihren verschiedenen Helligkeiten auf einem gleichförmigen Hintergrund, auf den sie projiciert werden, sich entwickeln. Es gelingt nur schwer, das ganze inverse Bild des Aufbaus gleichzeitig zu erhalten. Die Versuche lassen sich ins Beliebige durch Vermehrung der vor einander befindlichen Flächen verschiedener Helligkeit fortsetzen, so lange bis man zu einer Größe des Hintergrundes gelangt, welche den empfindlichen Teil der Netzhaut deckt. Schon hieraus sieht man, dass zur Entstehung eines Nachbildes eine die fixierte Helligkeit wenigstens teilweise umfassende differente Helligkeit überhaupt Bedingung ist. Wo keine Helligkeitsdifferenzen im Gesichtsfelde vorhanden sind, giebt es gar keine Nachbilder, es mag die einwirkende Helligkeit noch so stark sein. Man kann dies schon konstatieren, wenn man einen einige Quadratmeter großen weißen Kartonbogen so vor das Auge hält, dass das ganze Gesichtsfeld gedeckt ist. Noch besser benutzt man einen Wintertag mit heller Beleuchtung nach frischem Schneefall zu dem Versuch. Fixiert man auf einer ununterbrochenen Schneefläche einen Punkt längere Zeit, ohne dass andere Gegenstände im Gesichtsfelde wären, so tritt kein Nachbild auf. Umgrenzt man aber ein kleines Stück einer Schneefläche etwa mit Kohlenstückchen, so dass dies kleine Stück von Schwarz umfasst ist und fixiert es nun, so tritt sogleich eine Verdunkelung desselben ein. Die ursprüngliche Differenz der Helligkeiten im Gesichtsfelde bestimmt also nicht nur die Richtung der Nachbilder, sondern auch ihre Existenz.

Es zeigt dies klar und entschieden, dass es unmöglich ist, von der Ermüdung einer einzelnen Netzhautpartie zu sprechen. Das Sehorgan reagiert einheitlich auf die Gesamtheit der im Gesichtsfeld befindlichen Helligkeitsunterschiede

und bei längerer Einwirkung durch einen von der relativen Verteilung dieser Helligkeiten abhängigen inversen Prozess.

Es kam mir nun noch darauf an, die gefundene Gesetzlichkeit im Auftreten der Helligkeitsveränderungen, welche durch das Fixieren entstehen, durch geeignete Versuche deutlich vor Augen zu führen und womöglich einen zahlenmäßigen Ausdruck dafür zu gewinnen.

Es dienten dazu die folgenden Versuche, die ich mit dem durch die Vorversuche bereits eingeübten Herrn stud. Voeste im Sommersemester 1894 ausgeführt habe.

Der Helligkeitswert der Nachbilder zeigt eine doppelte Abhängigkeitsbeziehung. Die obigen Versuche ließen erkennen, dass die Helligkeit eine Funktion derjenigen des Grundes ist. Es wurde auch schon bemerkt, dass nicht blos die Art des Nachbildes vom Grunde abhängt, sondern dass auch die Quantität der Verdunklung und Aufhellung eine Funktion des Helligkeitsverhältnisses von Grund und Scheibe ist. Sind beide sehr verschieden, so bemerkt man viel schneller und leichter die Verdunklung oder Aufhellung, als wenn zwischen der Helligkeit des Grundes und der Fixationsscheibe kein großer Unterschied besteht.

Die Helligkeit der Nachbilder ist aber zweitens, wie zwar erwähnt ist, aber bisher unberücksichtigt blieb, abhängig von der Zeit der Fixation. Es ist dies durch v. Kries[1]) in seinen schönen Versuchen zuerst gezeigt und zahlenmäßig festgestellt worden. J. v. Kries hatte eine kleine weiße Scheibe auf eine variable größere gesetzt und die letztere durch einen schwarzen Schirm mit kreisrundem Ausschnitt verdeckt. Nach Fixation eines Punktes auf der Peripherie der kleinen weißen

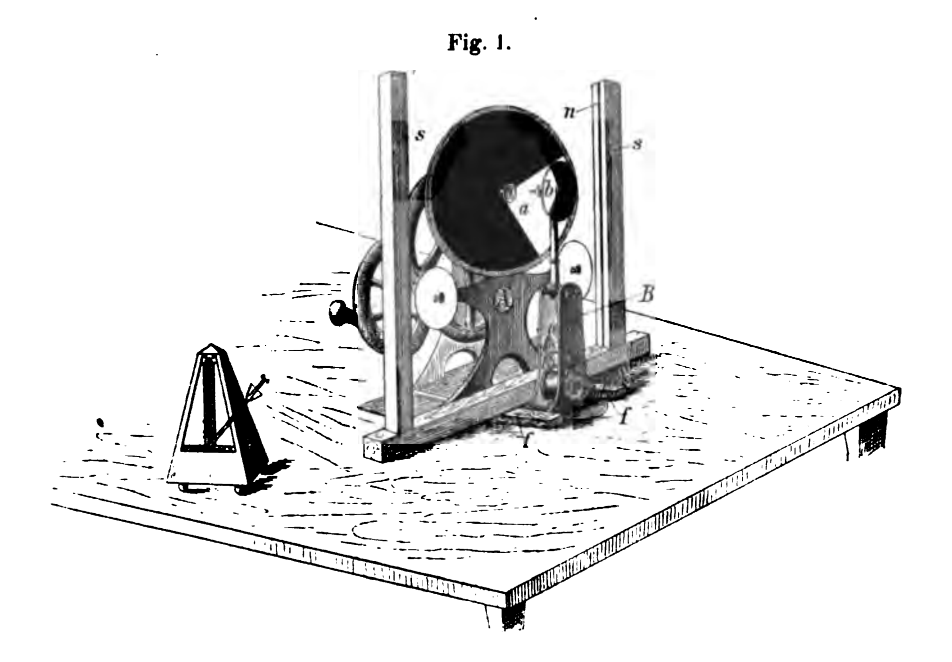
1) J. v. Kries, Über die Ermüdung des Sehorgans. v. Graefe's Archiv f. Ophthalmologie Bd. 23, 1877, 2. Abt., S. 1 ff.

Scheibe wurde der schwarze Schirm rasch entfernt und der Vergleich zwischen der durch das Nachbild beeinflussten scheinbaren Helligkeit der kleinen weißen Scheibe und der variierten der umgebenden größeren angestellt. Die Versuche von v. Kries beziehen sich also nur auf den einzigen Fall, wenn Weiß auf Schwarz gesehen wird. Durch Veränderung des Beleuchtungsabstandes wurde dieser Fall nach der Seite der Intensität hin variiert. Überall ergab sich eine Abhängigkeit des Grades der »Ermüdung« von der Dauer der Fixation; die Ermüdung nimmt mit der Dauer zu; bei gleicher Zeitdauer eine Abhängigkeit von der Reizstärke. Unter der Reizstärke versteht v. Kries naturgemäß die größere oder geringere Helligkeit der fixierten Scheibe ohne Rücksicht auf die Umgebung, da ihm die Wichtigkeit dieser unbekannt war.

Die von mir angestellten Versuche waren in der Ausführung denen von v. Kries nachgebildet. Sie fanden in einem gegen Norden liegenden Zimmer mit gleichmäßigen Lichtverhältnissen statt. Vor dem Jungschen Drehapparat, (*A*) auf nachstehender Zeichnung (Fig. 1), auf welchem eine größere Scheibe (*a*) von 23 cm Durchmesser gedreht werden konnte, war ein Rahmen (*s*) fest aufgestellt, in dessen Riefen (*n*) eine mit schwarzem, weißem oder grauem Papier beklebte, auf der Zeichnung nicht sichtbare Pappscheibe steckte. Vor dieser als Hintergrund für die zu fixierende kleine Scheibe dienenden Fläche stand, gehalten durch eine Holzführung (*f*), der bekannte kleine Leipziger Rotationsapparat mit einer kleinen Scheibe (*b*). Die Versuchsperson hatte auf ein gegebenes Zeichen die kleine Scheibe zu fixieren; nach den Schlägen eines Metronoms zog der Experimentierende in bestimmter Zeit den Hintergrund aus dem Rahmen mit schneller Bewegung fort. Die Versuchsperson richtete im gleichen Moment den Blick von der fixierten kleinen Scheibe auf die

nun sich enthüllende größere und gab ihr Urteil über die scheinbare Helligkeit der kleinen Scheibe ab. Es wurde im übrigen verfahren wie oben. Zwischen den einzelnen Versuchen wurden Pausen zur Erholung des Auges gemacht, die so groß waren, dass bei sorgsamer Beobachtung des verdunkelten Gesichtsfeldes ein Nachbild nicht mehr bemerkt wurde.

Fig. 1.



Diese Pausen mussten besonders nach den längeren Fixationszeiten oft recht groß sein, nicht blos der Nachbilder wegen, sondern auch um eine übergroße Anstrengung des Organs und deren Nachwirkung zu vermeiden. Der wesentlichste Unterschied von der v. Kriesschen Methode, abgesehen von der Einführung des Hintergrundes, bestand darin, dass der fixierte Punkt der kleinen Scheibe absichtlich nicht an der Peripherie gewählt wurde, und dass zwischen der Fixations-

scheibe und der Vergleichsscheibe ein Entfernungsunterschied von ca. 6 cm war. Beide Umstände wirkten zusammen, eine Blickbewegung (geringe Erhebung und geringe Vergrößerung der Divergenz der Blicklinien) zur Vergleichung nötig zu machen. Also auch diese Versuche beruhen nicht, wie diejenigen von v. Kries, auf einer Vergleichung einer direkt gesehenen Fläche mit einer indirekt gesehenen, sondern es wurde mit voller Absicht von der fixierten Scheibe fort und auf die Vergleichsscheibe hingesehen, eine direkt gesehene Helligkeit mit einer zweiten direkt gesehenen Helligkeit verglichen. Das auf diese Weise von zwei Personen (M. und V.) gewonnene Versuchsmaterial umfasst sechs Fälle. Ich gebe nicht die Einzelversuche wieder, sondern gleich die Ergebnisse und zwar in dreifacher Form. Einmal werden die Grade Schwarz und Weiß angeführt, welche dem Grau entsprechen, dem eine verschieden lange fixierte Scheibe schließlich als gleich erscheinend gefunden wurde. Sodann wird dies Grau in einfacher Zahl als Helligkeit ausgedrückt. Dabei ist als das Helligkeitsverhältnis des benutzten schwarzen und weißen Papiers 1 : 40 angenommen und zur Berechnung die bequeme abgekürzte Formel $40 - 0{,}11^{\circ}\,s$ benutzt, die sich durch Umrechnung aus $\frac{\alpha^{0}\,s + (360 - \alpha^{0})\,40}{360}$ ergiebt. Endlich ist jeder Tabelle eine dieselbe veranschaulichende Kurve hinzugefügt, die mit einem Blicke die doppelte Abhängigkeitsbeziehung der Nachbilder von der Zeit und dem Hintergrund zu übersehen gestattet. Als Abscissen der Kurve sind die Zeiten aufgetragen, als Ordinaten die zugehörigen gefundenen Vergleichshelligkeiten. Der Grund, auf welchem die Scheibe fixiert wurde, ist durch die dicke schwarze Linie bezeichnet, die Anfangshelligkeit ergiebt sich aus der punktierten Fortsetzung der Kurve bis zur Anfangszeit. Das Verhältnis der

fixierten Scheibe zum Hintergrund war in den sechs behandelten Fällen folgendes:

1) Weiß auf Schwarz (40 : 1)
2) Hellgrau auf Schwarz (25,15 : 1)
3) Weiß auf Grau (40 : 19,21)
4) Hellgrau auf dunklerem Grau (25,15 : 19,21)
5). Hellgrau auf Weiß (25,15 : 40).
6) Schwarz auf Weiß (1 : 40).

Die fehlende Kombination eines noch dunkleren Grau als 19,21, betrachtet auf diesem selben Hintergrunde, die gewiss wünschenswert gewesen wäre, hatte nicht mehr vollendet werden können. Dieselbe später mit anderer Versuchsperson und neuer Versuchsanordnung hinzuzufügen, schien mir nicht angebracht.

Die angewandten Fixationszeiten waren 3 Sek., 6 Sek., 10 Sek., 20 Sek., 30 Sek., 50 Sek. Unter *T* sind demnach die Zeiten, unter *S* die Grade Schwarz, welche die Vergleichsscheibe haben musste, um der fixierten Scheibe gleich zu erscheinen, unter *H* die daraus sich ergebende Helligkeit der Vergleichsscheibe, unter *D* endlich die Differenz der gefundenen Helligkeit mit der der fixierten Scheibe zu finden. Je zwei Versuchsfälle sind in einer Tabelle vereinigt, wie aus den bezüglichen Überschriften ersichtlich ist. Es folgen auf jede Tabelle unmittelbar die sie darstellenden beiden Kurven.

Tab. VI.

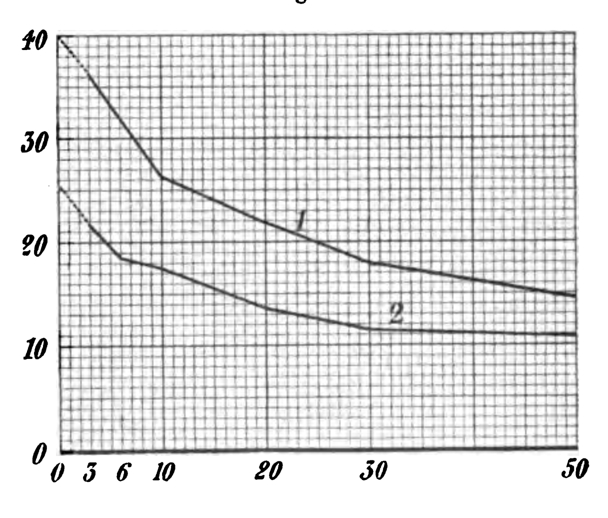
Versuchsperson M.

a. Weiß auf Schwarz (Kurve 1). b. Hellgrau (235° w + 135° s) auf Schwarz (Kurve 2).

40 : 1. 25,25 : 1.

T	S	H	D	S	H	D
3 Sek.	35° s	36,15	— 3,85	165° s	21,85	— 3,3
6 Sek.				195° s	18,55	— 6,6
10 Sek.	125° s	26,25	— 13,75	205° s	17,45	— 7,7
20 Sek.	165° s	21,85	— 18,15	240° s	13,6	— 11,09
30 Sek.	200° s	18	— 22	260° s	11,4	— 13,75
50 Sek.	230° s	14,7	— 25,3	265° s	10,85	— 14,3

Fig. 2.



Tab. VII.

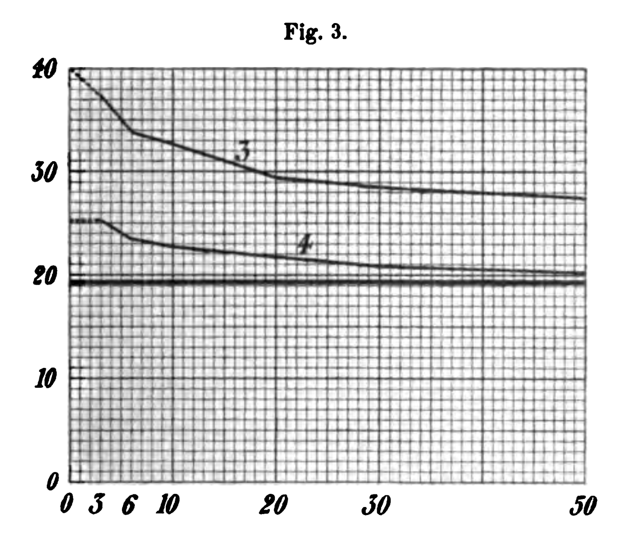
Versuchsperson M.

a. Weiß auf Grau (Kurve 3). b. Hellgrau auf dunklerem Grau (Kurve 4).

40 : 19,21. 25,15 : 19,21.

T	*S*	*H*	*D*	*S*	*H*	*D*
3 Sek.	25° s	37,25	— 2,75	135° s	25,15	— 0
6 Sek.	55° s	33,95	— 6,05	150° s	23,5	— 1,65
10 Sek.	65° s	32,85	— 7,15	155° s	22,95	— 2,20
20 Sek.	95° s	29,55	— 10,45	165° s	21,85	— 3,30
30 Sek.	105° s	28,45	— 11,55	175° s	20, 75	— 4,40
50 Sek.	115° s	27,35	— 12,65	180° s	20,2	— 4,95

Fig. 3.



Tab. VIII.

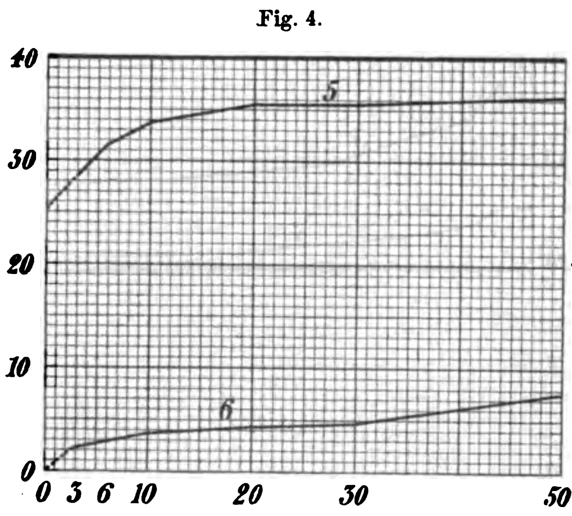
Versuchsperson M.

a. Hellgrau auf Weiß (Kurve 5). b. Schwarz auf Weiß (Kurve 6).

25,15 : 40. 1 : 40.

T	*S*	*H*	*D*	*S*	*H*	*D*
3 Sek.	105° s	28,45	+ 3,30	345° s	2,05	+ 1,05
6 Sek.	75° s	31,75	+ 6,60			
10 Sek.	55° s	33,95	+ 8,80	330° s	3,7	+ 2,7
20 Sek.	40° s	35,6	+ 9,55	325° s	4,25	+ 3,25
30 Sek.	40° s	35,6	+ 9,55	320° s	4,80	+ 3,80
50 Sek.	35° s	36,15	+ 11,0	295° s	7,55	+ 6,55

Fig. 4.



Tab. IX.

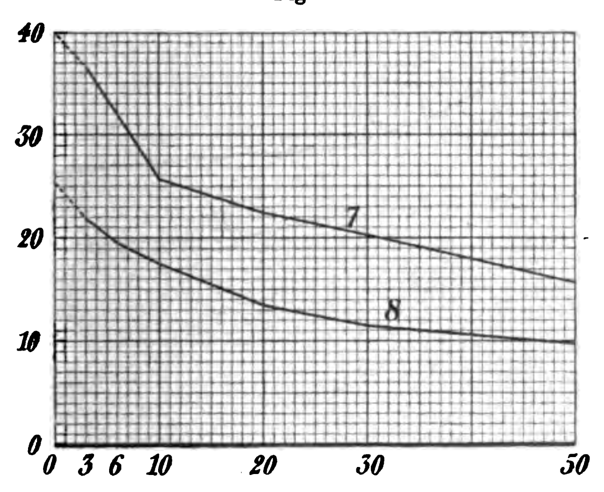
Versuchsperson V.

a. Weiß auf Schwarz (Kurve 7). b. Hellgrau auf Schwarz (Kurve 8).

40 : 1. 25,15 : 1.

T	*S*	*H*	*D*	*S*	*H*	*D*
3 Sek.	32° s	36,48	— 3,52	180° s	20,2	— 4,95
6 Sek.				185° s	19,65	— 5,50
10 Sek.	130° s	25,7	— 14,3	205° s	17,45	— 7,70
20 Sek.	160° s	22,4	— 17,6	240° s	13,6	— 11,55
30 Sek.	180° s	20,2	— 19,8	260° s	11,4	— 13,75
50 Sek.	220° s	15,8	— 24,2	265° s	10,85	— 14,30

Fig. 5.



Tab. X.

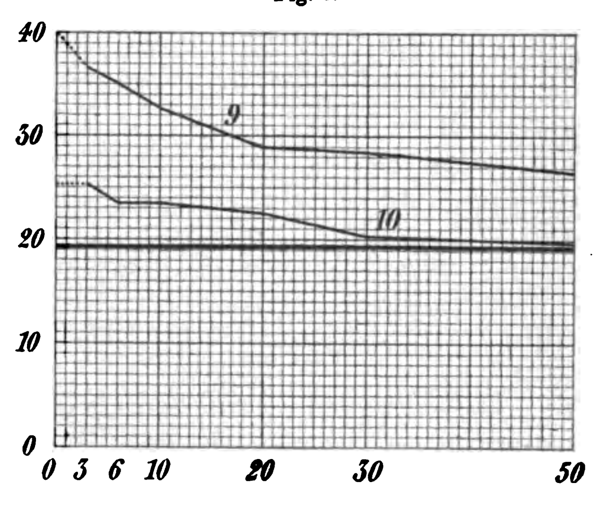
Versuchsperson V.

a. Weiß auf Grau (Kurve 9). b. Hellgrau auf dunklerem Grau (Kurve 10).

40 : 19,21. 25,15 : 19,21.

T	*S*	*H*	*D*	*S*	*H*	*D*
3 Sek.	30° s	36,7	— 3,3	135° s	25,15	— 0
6 Sek.	45° s	35,05	— 4,95	150° s	23,5	— 1,65
10 Sek.	65° s	32,85	— 7,15	150° s	23,5	— 1,65
20 Sek.	100° s	29	— 11	160° s	22,4	— 2,75
30 Sek.	105° s	28,45	— 11,55	180° s	20,2	— 4,95
50 Sek.	120° s	26,8	— 13,2	185° s	19,65	— 5,50

Fig. 6.



Tab. XI.

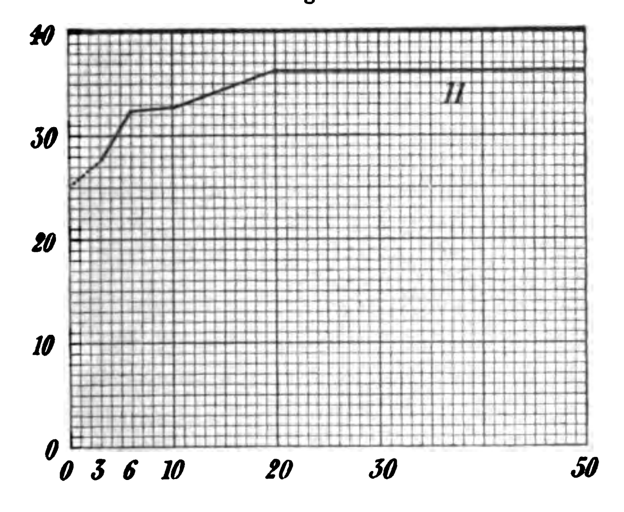
Versuchsperson V.

Hellgrau auf Weiß (Kurve 11).

25,15 : 40.

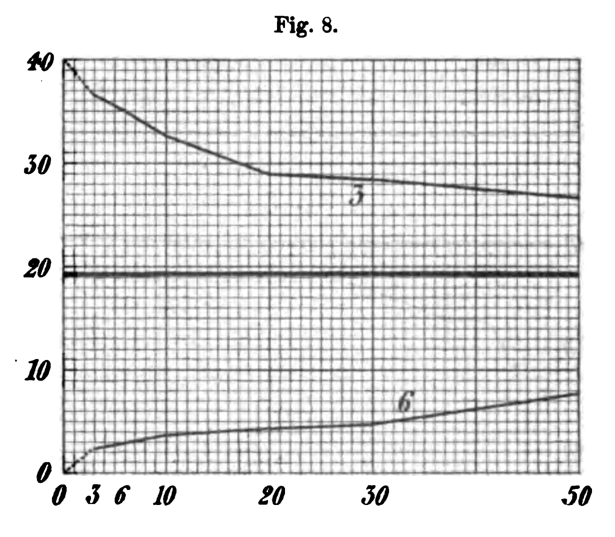
T	*S*	*H*	*D*
3 Sek.	115° s	27,35	+ 2,20
6 Sek.	70° s	32,3	+ 7,15
10 Sek.	65° s	32,85	+ 7,7
20 Sek.	35° s	36,15	+ 11
30 Sek.	35° s	36,15	+ 11
50 Sek.	35° s	36,15	+ 11

Fig. 7.



Die Kurven 1 bis 4 der Versuchsperson M., sowie die entsprechenden 7 bis 10 der Versuchsperson V. fallen ab, die Kurven 5 und 6, sowie die entsprechende Kurve 11 steigen an. Den Helligkeitsverlusten bei den ersteren stehen Helligkeitsgewinne bei den letzteren gegenüber. Der Verlauf der Kurven ist ein überaus regelmäßiger. Die Helligkeitsverluste oder Gewinne sind zuerst größer, nehmen aber mit dem Wachsen der Zeit ab. Die Gewinne sind in ihren absoluten Beträgen im Verhältnis zu den Verlusten anscheinend kleiner. Das allgemeine Aussehen der Kurven ist aber in beiden Fällen das gleiche. Dies noch anschaulicher zu machen, dienen die beiden folgenden Figuren, welche die Kurven 3

Fig. 8.

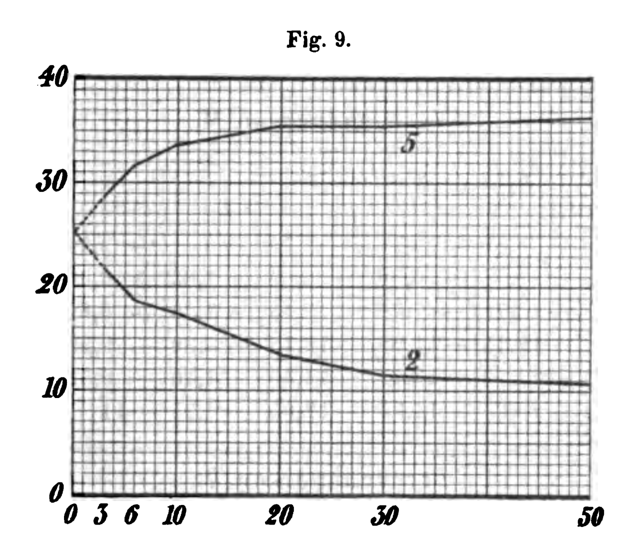


und 6 (Fig. 8), resp. die Kurven 2 und 5 (Fig. 9) der Versuchsperson M. zusammengestellt noch einmal aufweisen. In Fig. 8 ist der gleiche Hintergrund ein fast in der Mitte zwischen Schwarz und Weiß gelegenes Grau. Die fixierte Scheibe hatte im einen Falle (K. 3) die Helligkeit Weiß, im andern Falle war sie schwarz (K. 6). Die beiden Kurven

nähern sich von entgegengesetzten Seiten dem mittleren Grau des Hintergrundes an.

In Fig. 9 haben wir den umgekehrten Fall. Ein und dieselbe mittlere Helligkeit wird auf verschiedenen Gründen (Weiß und Schwarz) fixiert. Die beiden Kurven gehen regelmäßig auseinander mit dem Bestreben, den jedesmaligen Hintergrund zu erreichen.

Fig. 9.



Der Gesamteindruck der Kurven lässt sich durch den Satz wiedergeben, dass die scheinbare Helligkeit einer fixierten Scheibe in einer von der Zeit abhängigen regelmäßigen Weise sich allmählich derjenigen des Hintergrundes annähert, so dass also zu der Annäherung um so viel mehr Zeit nötig ist, als die Verschiedenheit von Grund und fixierter Helligkeit größer ist. Es ergiebt sich das einmal aus dem Umstande, dass in keinem Falle die Helligkeit des Grundes durch die gefundene scheinbare Helligkeit erreicht oder gar überschritten wird, zweitens aus dem Umstande, dass diese Annäherung

an den Grund bei verschiedenen Ausgangspunkten in demselben relativen Verhältnis zu erfolgen scheint.

Verfolgt man diesen Gedanken rechnerisch, so bestätigt er sich, wenn auch nur in einer den Verhältnissen entsprechenden angenäherten Weise. Zu dem Zwecke habe ich noch einmal aus den obigen Tabellen die Helligkeitsverluste und Gewinne zusammengestellt.

Tab. XII.

Versuchsperson M.						
T	1	2	3	4	5	6
3 Sek.	— 3,85	— 3,30	— 2,75	— 0	+ 3,30	+ 1,05
6 Sek.		— 6,60	— 6,05	— 1,65	+ 6,60	
10 Sek.	—13,75	— 7,70	— 7,15	— 2,20	+ 8,80	+ 2,7
20 Sek.	—18,15	—11,09	—10,45	— 3,30	+ 9,55	+ 3,25
30 Sek.	—22	—13,75	—11,55	— 4,40	+ 9,55	+ 3,80
50 Sek.	—25,3	—14,30	—12,65	— 4,95	+11	+ 6,55
Versuchsperson V.						
T	1	2	3	4	5	
3 Sek.	— 3,52	— 4,95	— 3,3	— 0	+ 2,20	
6 Sek.		— 5,50	— 4,95	— 1,65	+ 7,15	
10 Sek.	—14,3	— 7,70	— 7,15	— 1,65	+ 7,70	
20 Sek.	—17,6	—11,55	—11	— 2,75	+11	
30 Sek.	—19,8	—13,75	—11,55	— 4,95	+11	
50 Sek.	—24,2	—14,30	—13,2	— 5,50	+11	

Aus dieser Tabelle ist direkt kein Schluss zu ziehen, da die Zahlen bei den Verschiedenheiten der Ausgangshelligkeiten und der Gründe ihrem absoluten Betrage nach not-

wendig ähnlich verschieden ausfallen müssen und auch so ausfallen. Rechnet man aber die Werte in Prozente der Helligkeitsdifferenz von Grund und Scheibe um, so ergeben sich so homogene Zahlen, wie sie unter den gegebenen Verhältnissen nur erwartet werden können. Allein ausgenommen ist die Reihe 6, welche sich auf den Fall bezieht, wo Schwarz auf Weiß fixiert wurde. Der hierbei erzielte Helligkeitsgewinn ist viel kleiner, als der im Falle 5 und ebenfalls viel kleiner als der Helligkeitsverlust bei 1—4.

Tab. XIII.

	Versuchsperson M.						Versuchsperson V.				
T	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
3 Sek.	9,7	13,2	13,8	0	22	5,2	8,8	19,8	16,5		14,5
6 Sek.		26,4	30,3	29,2	44			22	24,8	29,2	47,9
10 Sek.	34,4	30,8	35,8	38	58,6	6,5	35,8	30,8	35,8	29,2	51,6
20 Sek.	45,7	44,4	52,3	58,4	63,6	7,1	44	46,2	55	48,7	73,7
30 Sek.	55	54	57,8	77,9	63,6	8	49,5	55	57,8	87,6	73,7
50 Sek.	63,5	57,2	63,3	87,6	73,6	13,5	60.5	57,2	66	97,4	73,7

Sehen wir von jener einen nicht den Anforderungen genügenden Reihe ab, so ergiebt sich als Endergebnis der Satz:

Der Verlust oder Gewinn der fixierten Helligkeit wächst im allgemeinen mit der Zeit, hat aber keinen von dieser allein abhängenden absoluten oder relativen Wert, so dass also etwa in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Menge Helligkeit oder ein bestimmter Bruchteil der gegebenen Helligkeit gewonnen oder verloren würde. Er ist zugleich abhängig von der Helligkeitsdifferenz des Reizes mit seiner Umgebung und beträgt in gleichen Zeiten annähernd

denselben, mit wachsender Zeit abnehmenden Bruchteil dieser Differenz; in etwa 15 bis 25 Sek. ist derselbe so groß, dass die entstehende scheinbare Helligkeit zwischen den gegebenen Reizen (Scheibe und Grund) ungefähr in der Mitte liegt.

Damit wäre denn für das Fechnersche Gesetz des Helligkeitswertes der Nachbilder, wie wir es nannten, ein allen Ansprüchen gerecht werdender experimenteller Nachweis gebracht und auch eine quantitative Bestimmung oder ein zahlenmäßiger Ausdruck gefunden, so weit dies in bezug auf Empfindungen überhaupt möglich ist.

Dass die Ermüdungstheorie angesichts dieses Gesetzes nicht mehr in Frage kommen kann, glaube ich nicht weiter ausführen zu brauchen. Eine andere Frage ist, in wieweit die Heringsche Theorie mit den gefundenen Thatsachen in Einklang zu bringen wäre. Diese Theorie musste schon deshalb ein gutes Vorurteil für sich erwecken, weil nach ihr die physiologischen Processe, welche den Nachbildern zu Grunde liegen, selbständige, denen auf welchen die primären Gesichtsbilder beruhen, ähnliche Prozesse sind, eine Annahme, die der geschilderten psychischen Selbständigkeit der Nachbilder zum Teil wenigstens gerecht wird. Die Heringsche Theorie kommt der richtigen psychologischen Auffassung der Nachbilder einen guten Schritt entgegen. Hering hat denn auch die Ermüdungstheorie von seinem Standpunkte aus mit den schärfsten Gründen bekämpft.

Die Heringschen Anschauungen beanspruchen noch aus einem andern Grunde stets ein besonderes Interesse. Hering gehört zu den physiologischen Vertretern jener metaphysischen Anschauung, welche die Bewusstseinsvorgänge mit physiologischen Vorgängen bestimmter Art identificiert, sie als einen direkten Ausdruck dieser auffassen zu müssen glaubt.

Die Folge ist, dass er wie kaum ein zweiter Physiologe auf die subjektive psychische Seite, auf die Bewusstseinsvorgänge, zu achten gelernt und gelehrt hat, ein Umstand, dem er in erster Linie seine vielen und großen Erfolge zu danken hat. In dem Bestreben, die psychischen Erscheinungen in die allgemeinen Lebensprozesse einzugliedern, mussten ihm dieselben an sich der genauesten Beachtung wert erscheinen. Er wurde auf physiologischem Wege von selbst zum feinsinnigsten Psychologen. Nun hat es entschieden in jedem einzelnen Falle das größte theoretische Interesse zu sehen, ob diese direkte Parallelisierung physiologischer Prozesse bestimmter Art mit bestimmten psychologischen Erscheinungen gelingt oder nicht. Ein solches Gelingen ist selbst dann bemerkenswert, wenn die physiologischen Vorgänge, die es in direkte Beziehung zu den Bewusstseinserscheinungen zu bringen gelingt, peripherer Natur sind, wie bei seiner Theorie des Sehens. Denn es dürfte gestattet sein, die sich anschließenden centralen Vorgänge in genauer funktioneller Abhängigkeit von den peripheren sich vorzustellen, wenn auch die Physiologie heute noch nichts von durch die peripheren Reizvorgänge begründeten spezifischen centralen Prozessen nachzuweisen vermag.

Wie wird die Heringsche Theorie also den Nachbilderscheinungen gerecht? Wir sehen dabei von den Farbenempfindungen und deren komplementären Nachbildern ganz ab. Hering geht aus in seiner Erklärung von der Anschauung, dass im körperlichen Organismus sich im wesentlichen zwei verschiedene Prozesse abspielen, ein synthetischer Bildungsprozess und ein Spaltprozess; fortwährend erzeugen sich die komplizierten Moleküle der Gewebe und zersetzen sich wieder; es findet eine Assimilierung und eine Dissimilierung der lebendigen Substanz statt. Das gesamte Leben ist ein Erzeugnis dieses Doppelprozesses; die gesamten Bewusstseins-

5*

erscheinungen müssen sich in diesen Doppellauf der physiologischen Vorgänge einschieben lassen. Die Theorie der Licht- und Farbenempfindung ist nichts anderes als eine Anwendung dieses allgemeinen Gedankens auf die Sehprozesse. Der Dissimilierung steht in der psychophysischen Substanz des Sehens die Assimilierung gegenüber; jener entspricht die Empfindung des Weißen, dieser die des Dunkeln oder Schwarzen. Die Grauempfindungen in ihren zahlreichen Stufen entstehen durch ein Zusammenbestehen beider Prozesse. Überwiegt die Dissimilierung, so ist das Grau ein helleres, überwiegt die Assimilierung so ist das Grau ein dunkleres. Es ist aber in jeder Grauempfindung die Schwarzweißempfindung enthalten und muss darin enthalten sein, als der subjektive Ausdruck der beiden Prozesse (D und A). Halten sich diese die Wage, so dass keiner derselben überwiegt und die erregbare Substanz in ihrer Quantität unverändert bleibt, so entspricht diesem Zustand die Empfindung eines »mittleren neutralen Grau«.

Die Auffassung, dass eine Grauempfindung die Schwarzweißempfindung in sich enthalte, ist vom psychologischen Standpunkt aus von vornherein unhaltbar. Nicht als ob ich die Möglichkeit des Nebeneinanderbestehens zweier Gesichtsempfindungen leugnen wollte. So gut wie zwei oder mehrere Tonempfindungen können auch zwei oder mehrere Gesichtsempfindungen zugleich vorhanden sein, und der Erfolg dieses Zusammenbestehens kann ein Mischeindruck, eine mittlere Empfindung sein. Das ist im Prinzip vollständig zuzugeben. Aber es liegt doch in der Heringschen Annahme eine merkwürdige Unklarheit, ein merkwürdiger innerer Widerspruch. Getreu seiner ursprünglichen Voraussetzung von der Parallelität physischer und geistiger Prozesse nimmt er für die Assimilierung und Dissimilierung der schwarzweißen Substanz nur zwei Empfindungen an. Die zahlreichen Grauempfindungen,

welche den Intensitätsabstufungen der physikalischen Reize entsprechen, entstehen durch die quantitativen Verhältnisse der beiden angenommenen Prozesse. Je dunkler im Verhältnis zum mittleren Grau die Empfindung ist, um so mehr Assimilierung, je heller, um so mehr Dissimilierung, ganz in Übereinstimmung mit der Thatsache, dass die Grauempfindung allgemein von der Quantität des einwirkenden Lichtes abhängt. Diese Verhältnisse, so klar sie auf der objektiven Seite des Vorganges, soweit es sich um die physikalischen und physiologischen Reize handelt, sind, so unklar bleiben sie auf der subjektiven psychologischen Seite. Setzen wir die drei typischen Fälle, die Assimilierung ist größer als die Dissimilierung, sie ist kleiner, beide sind gleich. Im ersten Falle soll die Schwarzempfindung überwiegen, im zweiten die Weißempfindung, im dritten beide gleich sein. Nun wird Hering die Schwarzempfindung sowohl wie die Weißempfindung, die beiden Konstituenten der Graureihe, sich doch jedenfalls als eine bestimmte Qualität vorstellen; der Assimilierung entspricht ein sehr dunkles Schwarz, der Dissimilierung ein sehr helles Weiß. Diese bestimmte Qualität muss auftreten, muss subjektiv vorhanden sein, sobald entweder der eine oder der andere Prozess einsetzt. Wo immer auf einem bestimmten Bezirk der Netzhaut ein Assimilierungsprozess ist, tritt die bestimmte Schwarzempfindung auf, wo immer der Dissimilierungsprozess ist, die bestimmte Weißempfindung, wo beide Prozesse nebeneinander, beide Empfindungen nebeneinander. Die beiden Empfindungen sind ausdrücklich nur gebunden an die Existenz der beiden Prozesse, nicht an die Existenz einer bestimmten Quantität der Prozesse, denn sonst müsste von vornherein eine größere Reihe von Empfindungen zugestanden werden. Von diesen Voraussetzungen aus gelangt man offenbar, wenn man sich irgend wie treu bleibt, überhaupt nur

zu drei Empfindungen, der schwarzen und weißen Urempfindung und einer solchen, welche beim Zusammenbestehen beider Prozesse entsteht; eine größere Zahl von Empfindungen ist schlechterdings unmöglich, sobald die Urempfindung nur an die Art der beiden Urprozesse gebunden ist. Oder man muss den Quantitäten der Urprozesse bereits Qualitätsabstufungen der Empfindung entsprechen lassen. Bleibe ich zuerst bei der Urempfindung Weiß stehen, so hat es gar keinen angebbaren Sinn, in psychologischer Beziehung von einem Mehr dieses bestimmten Weiß zu reden. Ein qualitativ bestimmtes Weiß bleibt dies Weiß, so sehr sich auch die Quantität desselben vermehren mag. Verändert sich infolge der Zunahme des Reizprozesses die Empfindung, so haben wir nicht mehr die Urempfindung Weiß, sondern wir haben die Empfindungsabstufungen bereits als Abhängige der Quantitätsabstufungen der Urreizprozesse. Die Ableitung der Graustufen aus zwei mit sich identisch bleibenden Empfindungen ist eine Erschleichung, die ermöglicht wird durch die so häufige Verwechslung der Reiz- und Empfindungsverhältnisse. Der Ausdruck, ich habe mehr Weiß in einem helleren Grau, als in einem dunkeln, ist richtig in bezug auf die Reize, unsinnig in bezug auf die Empfindungen. Qualitative und quantitative Reizänderungen bringen Empfindungsänderungen hervor, welcher Art diese sind, lehrt allein die innere Erfahrung. Ist eine Empfindung gegeben, in ihrer Qualität bestimmt, so kann ein Mehr der bloßen Empfindung an dieser Bestimmtheit nichts ändern; eine bestimmte Empfindung hat einen Grad, aber nicht mehrere Grade, eine Qualität, aber nicht mehrere. Das ist so sicher, wie der Satz, dass $2 \times 2 = 4$ ist, aber nur für den, der willens ist den Standpunkt der inneren Erfahrung, der Psychologie, festzuhalten.

So beginnt die Theorie Herings vom psychologischen

Standpunkte aus mit einem inneren Widerspruch, mit einer Verwechselung subjektiver und objektiver Verhältnisse. Wir sehen aber davon im Folgenden ganz ab und stellen die Frage, wie weit Hering von seinem Standpunkte aus die Nachbilderscheinungen erklärt hat.

Hering geht aus von den Kontrasterscheinungen.[1]) Dass diese nicht aus Urteilstäuschungen erklärt werden können, dürfte, dank der Bemühungen Herings heute nicht mehr bestritten werden können. Es handelt sich beim Kontraste um Empfindungsthatsachen, und wenn dies so ist, so folgt von selbst der wichtige von Hering zuerst ausgesprochene Satz, dass die Lichtempfindung einer Netzhautstelle auch von der Beleuchtung der Umgebung, nicht blos von der ihrer selbst allein, abhängig ist. Die Netzhaut reagiert auf die Gesamtheit ihrer Reizung als Ganzes, als einheitliches Organ, und alle Theorieen über den Reizverlauf, die sich auf die isolierte Betrachtung eines einzelnen Elementes gründen, sind einseitig.

In der Durchführung wendet nun Hering seine oben geschilderte Grundanschauung von dem Doppelprozess der Assimilierung und Dissimilierung an. Die Thatsache des Kontrastes besteht in der Erhöhung einer Helligkeit auf dunklerem, in der Herabsetzung einer Helligkeit auf hellerem Grunde. Nehmen wir den Fall, dass ein weißer Streifen auf schwarzem Grunde gesehen wird, so kann man mit Hering die Netzhaut durch den weißen Streifen als »direkt gereizt«, durch den Grund als »indirekt gereizt« bezeichnen. Es gilt dann der Satz, dass der direkt gereizte Teil durch gesteigerte Dissimilierung, die indirekt gereizte Umgebung durch gesteigerte Assimilierung auf den Reiz reagiert und zwar nimmt die letztere Reizung mit der Zunahme der Ent-

---

1) Hering, Zur Lehre vom Lichtsinn. Sitzungsber. der Wiener Akad. Mathem.-naturw. Klasse Bd. 66, 1872.

fernung von der gereizten Stelle ab. Die Steigerung der Assimilierung der Sehsubstanz vermehrt naturgemäß die Empfänglichkeit bei Eintreffen eines Reizes, vermehrt also die D-Erregbarkeit, während durch Steigerung der Dissimilierung die D-Erregbarkeit sich von selbst vermindert. Die Sätze gelten auch, wenn es sich nicht um Schwarz und Weiß, sondern um verschiedene Helligkeiten handelt.

Wandert der Blick, so wird dieselbe Netzhautpartie abwechselnd von schwächeren und stärkeren Reizen als die Umgebung getroffen. Da in der Zeit der Einwirkung eines schwächeren Reizes die Assimilierung sich steigert, die D-Erregbarkeit sich vermehrt, so treffen die stärkeren Lichtreize stets einen günstigen, gut vorbereiteten Boden für ihre Wirkung; es liegt also in dem geschilderten Verhalten eine nicht zu verkennende Zweckmäßigkeit.

Soweit ist alles klar; denn es handelt sich nur um die Einkleidung der Thatsache des Kontrastes in die Ausdrücke der Assimilierungs- und Dissimilierungs-Hypothese. Die oben aufgedeckte Schwierigkeit, wie eine Steigerung der Dissimilierung eine hellere Empfindung hervorzurufen vermag, während die Dissimilierung als solche ganz allgemein die Weißempfindung erzeugen soll, ist natürlich auch hier vorhanden; von ihr sollte jedoch abgesehen werden.

An die Erklärung des Kontrastes glaubt Hering nun die der Nachbilderscheinungen leicht anschließen zu können. Er behandelt die sich während der Fixation einer Helligkeit entwickelnden Erscheinungen gesondert unter dem Namen der simultanen Lichtinduktion, die nach erfolgter Fixierung sich ergebenden Erscheinungen als successive Lichtinduktion und nennt die letzteren, soweit sie bei offenem Auge stattfinden, successiven Kontrast.

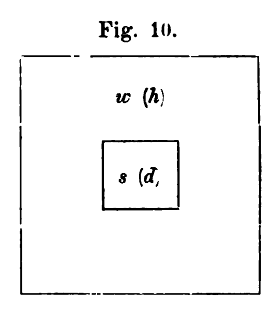
Also zuerst die simultane Lichtinduktion. Die Erschei-

nung, um die es sich handelt, besteht nach Hering in der Thatsache, dass bei längerer Fixation eine hellere Stelle auf dunklerem Grunde sich verdunkelt, während umgekehrt eine dunklere Fläche auf hellerem Grunde sich aufhellt.

Wie erklärt sich nun nach Hering die simultane Lichtinduktion? Unterscheiden wir gleich die zwei prinzipiellen Fälle. Man kann entweder Weiß auf Schwarz oder Schwarz auf Weiß, entweder, um es noch allgemeiner auszudrücken, Heller auf Dunkler oder Dunkler auf Heller fixieren. Im ersten Fall tritt für die fixierte mittlere Fläche eine Verdunkelung, im zweiten eine Aufhellung ein. Die Grundvoraussetzung Herings ist auch hier, dass die Reizung mit Licht die Dissimilation vermehrt, dass sich in den relativ dunkleren Teilen zugleich die Assimilation und damit die *D*-Erregbarkeit steigert.

Nehmen wir als ersten Fall an, es läge ein schwarzes (dunkleres) Quadrat auf weißem (hellerem) Grunde (vgl. Fig. 10).

Fig. 10.



Dann steigert sich auf dem dunkleren Quadrat (*d*) die Assimilation, während in *w* (*h*) die Dissimilation den Sehstoff verbraucht. Nach einer Weile kehren sich die Empfindungen um; das dunkle Quadrat wird allmählich heller. Hering nimmt an, dass infolge der gesteigerten *D*-Erregbarkeit jetzt die inneren Reize eine solche Kraft erreichen, dass auf ihre

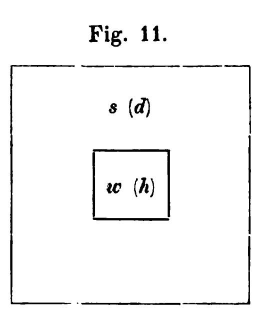
Wirksamkeit hin eine Aufhellung eintritt. In dem Falle, dass das Quadrat nicht schwarz sondern nur im allgemeinen heller als der Grund ist, wird man im Sinne von Hering von den innern Reizen absehen können, und die Aufhellung auf den ursprünglichen Reiz zurückführen können, der einer gesteigerten *D*-Erregbarkeit begegnet. Nun entsteht die Frage, wie mit diesen leicht verständlichen und scheinbar aufklärenden Annahmen die subjektive Seite des Vorgangs zu vereinen ist. Wo Dissimilation, da ist Weißempfindung, wo Assimilation, da ist Schwarzempfindung, das war die erste Voraussetzung, dazu der von uns widerlegte, aber acceptierte Satz, wo mehr Assimilation, da ist eine dunklere Empfindung, wo mehr Dissimilation, eine hellere. Im ersten Moment des Reizes findet also in Übereinstimmung mit den subjektiven Erscheinungen auf dem Grunde Dissimilation, in dem kleinen Quadrat Assimilation statt, wir sehen Dunkel auf Hell, das Dunkel ist besonders dunkel, weil die Assimilation infolge der Dissimilation nebenan gesteigert ist. Jetzt erhellt sich das Quadrat. Es ist dies die Folge der eintretenden stärkeren Dissimilation; die stärkere Dissimilation konnte nach Herings Annahme nur eintreten, weil die Assimilation von der Nachbarschaft her gesteigert war, denn sonst wäre sie ja gleich eingetreten, wir hätten nur Dissimilation und keinen Kontrast gehabt. Die eintretende Dissimilation muss dann offenbar die vermehrte Sehsubstanz wieder aufzehren und so lange dies der Fall ist, muss eine Weißempfindung vorhanden sein. Das kann aber nicht lange dauern, denn die Vermehrung der Assimilation und *D*-Erregbarkeit ist ja zu Ende, wie man eben an der eintretenden Aufhellung des Quadrats erkennt. Es muss also notwendig wieder eine Verdunkelung eintreten, oder man muss annehmen, dass durch den kurzen ersten momentanen Eindruck die Steigerung der

Assimilation und *D*-Erregbarkeit der dunkeln Partieen eine so kolossale war, dass kein noch so langes Fixieren den vermehrten Sehstoff verbrauchen kann. Nehmen wir aber das Letztere an, so fordert die logische Konsequenz der Theorie, dass der Verbrauch des angesammelten Sehstoffes eine fortschreitende Verminderung desselben herbeiführt, dass also die Dissimilation allmählich schwächer wird und folglich die eingetretene Verhellung mit der Zeit nachlässt. Thatsächlich nimmt sie aber mit der Zeit zu. Eine seltsame an den Zukunftsstaat erinnernde Ökonomie des Stoffwechsels. Durch die Reizung der Umgebung erhält eine Netzhautstelle eine starke Förderung ihrer Assimilation, der Eindruck ist eine starke Verdunkelung. Es ist zugleich ein solcher Vorrat von latenter Dissimilations-Energie entstanden, dass der kleine innere Anstoß durch das Eigenlicht genügt, eine Dissimilation und damit Weißempfindung auszulösen. Und wunderbar, je länger dies dauert, je länger die Dissimilation anhält, je mehr Verbrauch und Abnahme der Sehsubstanz, um so heller wird die Empfindung, d. h. um so stärker ist der Dissimilationsprozess, ohne dass eine neue Vermehrung der Sehsubstanz einträte.

Will man entgegnen, die Sache erkläre sich sehr einfach dadurch, dass die Verstärkung der Assimilation durch die lichtere Nachbarschaft fortwirkt, dass also fortwährend infolge der helleren Umgebung die *D*-Erregbarkeit des dunkleren Quadrats gesteigert wird und dadurch die Aufhellung desselben bei Fixation sich erklärt, so liegt die Schwierigkeit der Sache auf subjektiver Seite erst recht zu Tage. Denn wenn die Assimilations-Steigerung fortwirkt, muss auch die Verdunkelung weiterbestehen, und wenn zugleich die *D*-Erregbarkeit wächst und die Dissimilation infolge dessen steigt, so muss zugleich die Weißempfindung steigen. Es müsste also eine gleichzeitige Vermehrung der Weiß- und

der Schwarzempfindung eintreten. Wie soll sich daraus die Aufhellung erklären? Nimmt man an durch eine überwiegende Steigerung der Dissimilation, so muss sich der *D*-Vorrat doch erschöpfen und es entsteht der Widerspruch mit der sonst von Hering allgemein gemachten Annahme, dass durch Fortwirken eines Reizes die *D*-Energie sich aufzehrt. Wie man also auch die Sache betrachtet, die subjektiven Erscheinungen sind nicht mit den von Hering gemachten Annahmen und Voraussetzungen über die physiologischen Vorgänge und deren subjektive Bedeutung in Einklang zu bringen.

Fig. 11.



Weit günstiger für Herings Theorie liegt der umgekehrte Fall, wenn ein helleres (weißes) Quadrat auf einem dunkleren (schwarzen) Grunde betrachtet wird (vergl. Fig. 11). Alsdann erscheint es heller, als es auf einem helleren Grunde aussehen würde. Aber auch in diesem Falle scheint mir eine konsequente Durchdenkung der Voraussetzungen Herings seine Theorie unmöglich zu machen. Nehmen wir zuerst den Fall, dass Hellgrau (*h*) auf dunklerem Grau (*d*) liegt. Die starke Beleuchtung des helleren Quadrats hat den Erfolg, dass die Assimilation im Gebiete des dunkleren Grundes verstärkt wird; das Quadrat scheint darum heller. Im allgemeinen unterstützen sich die Assimilationen, wenn Hell von Hell um-

geben ist (cf. a. a. O. §. 32); je dunkler die Umgebung, um so heller muss also ein Eindruck erscheinen.

Wird nun das helle Quadrat fixiert, so nimmt die erregbare Substanz ab, die Dissimilation vermindert sich, das Quadrat erscheint dunkler und dunkler, wozu die Assimilations-Steigerung durch die helle Umgebung einen weiteren Grund liefert. Soweit ist alles klar, und doch erscheint mir das Phänomen wunderbar im Sinne der Heringschen Theorie. Die Assimilations-Steigerung und die Herabsetzung der Dissimilation durch den fortwirkenden, helleren Reiz sind beides Gründe zum Dunkelwerden der Fläche, sind aber auch beides Gründe zur Erhöhung der *D*-Erregbarkeit, sie sollten es wenigstens in dem vorigen Falle sein. Warum tritt also nicht wieder eine Aufhellung ein? Warum bleibt es hier bei fortschreitender Verdunkelung? Warum erscheint das Nachbild im geschlossenen Auge nach längerer Fixierung von Weiß auf Schwarz so tief schwarz und bleibt so, während die inneren Reize hier einer ungewöhnlich gesteigerten *D*-Erregbarkeit begegnen? Was oben recht war, sollte doch auch jetzt billig sein. Nehmen wir aber den für Hering günstigen Fall, dass ein weißes Feld auf ganz schwarzem Grunde betrachtet wird, so ergiebt sich auch hier eine Schwierigkeit. Jetzt fällt für das kleine Quadrat die Assimilations-Vermehrung durch die Umgebung, also der eine Grund zur Verdunkelung fort. Die Verdunkelung des fixierten weißen Quadrats ist nur die Folge der allmählich abnehmenden Dissimilation. Und doch ist die Verdunkelung in gleichen Zeiten in diesem Falle eine stärkere, als in dem vorigen, während es doch umgekehrt zu erwarten wäre. Weiter aber, der Dissimilationsprozess zehrt die Sehsubstanz auf, daher die Abnahme der Helligkeit. Fügen wir hinzu, es tritt aus Gründen des Stoffwechsels von selbst eine Assimilation ein, welche den Seh-

stoff wieder erzeugt. Dann kann entweder die Assimilation überwiegen, so dass der Sehstoff sich wieder vermehrt, oder die Dissimilation, so dass er schwindet, oder beide Prozesse gelangen ins Gleichgewicht. Im ersten Falle müsste nach einer gewissen Zeit eine Unterbrechung der Verdunkelung eintreten und eine Aufhellung beginnen, im zweiten müsste eine fortschreitende Verdunkelung eintreten, im dritten schließlich ein gleichförmiges Grau entstehen. Der subjektive Befund spricht für den zweiten Fall. Die fixierte weiße Stelle wird immer dunkler, sie nähert sich dem Schwarz an. Wir hätten dann ein Schwarz lediglich als Folge der völligen Dissimilation aller Sehsubstanz der betreffenden Netzhautstelle. Jedes Molekülchen der Substanz wird bereits in der Bildung wieder zersetzt, die Assimilation wird im Keime erstickt. Nun soll die Schwarzempfindung der Assimilation, der Dissimilation aber die Weißempfindung entsprechen. Diese Voraussetzungen kehren sich mithin hier völlig um. Wir haben mit einem Male eine Dissimilation und zwar die vollständigste, die denkbar ist, als Ursache der Schwarzempfindung.

Will man diese üble Konsequenz nicht ziehen, stellt man sich also auf den Standpunkt, die Assimilation könne nie so weit hinter der Dissimilation zurückbleiben, so müssen wir eine in irgend einem Zeitpunkt beginnende Wiederaufhellung oder das mittlere neutrale Grau als Folge dieser Assimilations-Vermehrung fordern. Dem widersprechen die Thatsachen.

Schwieriger wird noch die Lage der Heringschen Erklärungsart bei dem Eingehen auf bestimmte Helligkeitsverhältnisse.

Legt man ein kleines Quadrat ein und desselben Graus auf einen helleren und auf einen dunkleren Hintergrund, so tritt bei Fixierung des ersten in kürzester Zeit eine Ver-

dunkelung, beim zweiten ebenso schnell eine Aufhellung ein. Es ist das auch der Fall, wenn wir den helleren Hintergrund nur ein ganz klein wenig heller nehmen als das Quadrat, so dass eine Kontrastwirkung unbemerkbar wird. Dieser geringe Helligkeitsunterschied müsste die Assimilation und *D*-Erregbarkeit der kleinen grauen Fläche, obschon sie sich subjektiv durch eine Verdunkelung im Kontrast gar nicht bemerkbar macht, so erhöhen, dass der fortwirkende Reiz einen helleren Eindruck macht, obschon derselbe Reiz bei seinem Fortwirken auf dunklerem Grunde zu einer deutlich dunkleren Empfindung führt und zu einer um so dunkleren, je größer der Helligkeitsunterschied von Grund und Quadrat ist. Es ist leicht, diesen Unterschied zwischen dem gewählten Grau und dem dunkleren Hintergrund so groß zu wählen, dass sich für ein und dieselbe Zeit zahlenmäßig beweisen lässt, dass der Helligkeitsverlust auf dunklerem Grunde viel größer ist, als der Helligkeitsgewinn auf hellerem Grunde. Dieser Helligkeitsverlust auf dunklerem Grunde soll aber die Folge von der Fortwirkung des Reizes und der mit der Dissimilation verbundenen Abnahme der Sehsubstanz sein. Diese Abnahme muss nach Herings Annahme aber auch auf dem helleren Grunde stattfinden. Es müsste dann, wenn wir den einen Fall an dem andern messen wollen, immer gleiche Zeiten vorausgesetzt, also der Helligkeitsgewinn, der sich aus der Steigerung der *D*-Erregbarkeit ergiebt, durch den Helligkeitsverlust infolge der Dissimilation wett gemacht werden, wir müssten eine Verdunkelung und keine Aufhellung haben.

Alle diese Einwände gelten allgemein und ohne Rücksicht auf die »Stimmung« des Sehorgans mit der einzigen Voraussetzung, dass das Organ in einem solchen Zustande ist, dass bei geschlossenem Auge Nachbilder nicht mehr beobachtet werden, also für jedes nicht durch längeres Fixieren

in einen unnatürlichen Reizzustand versetzte Auge. Die Einwände gelten auch von allen Helligkeiten, sie mögen dem äußersten Schwarz oder dem äußersten Weiß so nahe und fern liegen als man will. Es kommt einzig darauf an, dass überhaupt noch Helligkeitsunterschiede vorhanden sind. Ich glaube daher nicht, dass Hering auf die Erregbarkeitsverhältnisse der besonderen Fälle wird zurückgehen können. Da alle Fälle in die Einwände eingeschlossen sind, sind es auch diejenigen, bei welchen die Stimmung des Organs eine neutrale ist. Mögen dieselben nun auch in Wirklichkeit noch so selten vorkommen, so müssen sie doch wenigstens als möglich zugestanden werden.

Nicht anders liegt die Sache bei der successiven Lichtinduktion. Dabei sei bemerkt, dass Hering meiner Meinung nach die Erscheinung selbst nicht genau beschreibt, ein Vorwurf, der Hering gegenüber fast vermessen klingt. Er unterliegt einem höchst verzeihlichen Irrtum. Er stellt den Versuch so an, dass etwa zwei tiefschwarze Blätter nebeneinander so auf einen weißen Grund gelegt werden, dass ein weißer Streifen von 1 cm Breite zwischen ihnen frei bleibt. Bei Fixation dieses Streifens überzieht sich derselbe allmählich deutlich mit Grau; er wird mit der Zeit immer dunkler. Zieht man die schwarzen Streifen fort, so tritt dies Grau noch deutlicher hervor als vorher infolge des Umstandes, dass die Teile, wo die schwarzen Streifen lagen, ebenfalls durch die Nachbilder viel heller erscheinen, als der übrige Grund. Hering stellt nun die Sache so dar, als ob das Grau nach Fortziehen des Streifens ein anderes und viel dunkleres sei, als dasjenige Grau, welches er während des Fixierens sieht. Ich muss das bestreiten. Es ist genau dasselbe Grau, nur dass es unter der neuen Bedingung leichter gesehen wird. Es liegt also eine Verwechselung der Deutlich-

keit und Helligkeit vor. Der subjektive Vorgang ist ein ganz ähnlicher, wie bei Fechners paradoxem Versuch. Betrachtet man eine weiße Fläche mit einem offenen und einem geschlossenen Auge, und öffnet dann das letztere plötzlich, so erhellt sich derjenige Teil des Gesichtsfeldes, der infolge seiner excentrischen Lage sich auf den äußersten Partieen des bis dahin geschlossenen Auges allein abbilden konnte. Ein bis dahin dunkler Teil des Gesichtsfeldes erstrahlt also in einer großen, mit der des übrigen Gesichtsfeldes gleichen Helligkeit. Es wird sozusagen von diesem Teil der Vorhang fortgezogen. Dieser Zuwachs des erhellten Gesichtsfeldes lässt die Täuschung aufkommen, als ob ein Zuwachs von Helligkeit stattgefunden hätte. So beschreibt auch Fechner die Erscheinung; er meinte, bei genauerem Aufmerken stelle sich dieser Zuwachs allerdings als sehr gering heraus. Ich glaube, wenn man sehr sorgfältig die Helligkeiten im Auge behält, ist leicht zu erkennen, dass überhaupt kein Zuwachs der Helligkeit der gesehenen Fläche zu konstatieren ist; die Enthüllung des bis dahin dunkeln kleinen Teiles des Gesichtsfeldes verführt nur zu der momentanen Täuschung, als ob ein solcher Zuwachs stattgefunden hätte. Wie hier die Verwechselung des Helligkeitszuwachses mit dem Zuwachs der gesehenen hellen Fläche vorliegt, so scheint mir in dem obigen Falle eine Verwechselung vorzuliegen zwischen dem Deutlichwerden des grauen Streifens und seiner scheinbaren größeren Dunkelheit.

Für die Erklärung und deren Richtigkeit ist es nicht von wesentlicher Bedeutung, ob die beträchtliche Verdunkelung des Streifens früher oder später eintritt, da über eine mit der Fixierzeit zunehmende Verdunkelung ein Streit nicht bestehen kann. Die Darstellungsweise Herings ist aber für seine Auffassung ungleich bequemer.

Über die successive Lichtinduktion finden wir bei Hering keine längere allgemeine Erörterung. Er sagt (a. a. O. S. 216): »Hört die Beleuchtung der hellen Teile auf, so können sie nicht mehr begünstigend auf die Assimilierung in den umgebenden Teilen wirken, die Assimilierung sinkt daher hier sofort, während die Dissimilierung unter dem Einfluss der inneren *D*-Reize nicht nur fortbesteht, sondern auch wegen der gesteigerten *D*-Erregbarkeit entsprechend stark ist. Nach unserer Theorie folgt, dass nun das Verhältnis $\frac{W}{S}$ oder $\frac{D}{A}$ ein größeres, d. h. die Empfindung heller wird. Daher erscheinen nach langer Fixation einer Fläche, die Helles auf dunklem Grunde zeigt, im nachher verdunkelten Auge die vorher dunklen Teile hell und, wie ich gezeigt habe, unter günstigen Umständen geradezu leuchtend hell: dies ist die successive Lichtinduktion.«

Danach beruht der successive Kontrast nach Fixierung einer Fläche, die Helles auf dunkelm Grunde zeigt, im nachher verdunkelten Auge auf einer Vergrößerung des Verhältnisses $\frac{D}{A}$, kurz auf einer Vermehrung der Dissimilierung im Verhältnis zur Assimilierung. Umgekehrt wird die Verdunkelung auf einer Verminderung dieses Verhältnisses beruhen müssen. Wir haben also zunächst nichts anderes vor uns als eine Wiederholung des allgemeinen Grundgedankens der Theorie. Zur weiteren Erklärung der Erscheinungen werden dann vier typische Fälle successiver Kontraste besprochen. Gehen wir auf diese ein und machen die Probe, wie weit hier denn die subjektiven Erscheinungen mit der Theorie in Einklang stehen.

Hering legt zwei tiefschwarze Blätter auf eine helle weiße Fläche, so dass sie einen 1 cm breiten Streifen frei lassen; dieser wird 1—$1\frac{1}{2}$ Minuten lang fixiert. Der weiße

Streifen verdunkelt sich; die schwarzen Streifen werden dann entfernt, und nun tritt die Verdunklung des weißen Streifens noch klarer hervor. Diese Verdunklung soll nun die Folge der plötzlichen Erhellung der Nachbarschaft sein. Die Dissimilierung der letzteren wird plötzlich gesteigert und wirkt begünstigend auf die Assimilierung der Stelle des weißen Streifens. Vor der Entfernung war das Gegenteil der Fall; die Stellen der schwarzen Blätter erhielten nur wenig zerstreutes Licht, die Dissimilation war gering, dagegen wurde vom weißen Streifen her die Assimilation begünstigt und die *D*-Erregbarkeit gesteigert. »Wird nun plötzlich das Licht des weißen Grundes neben dem Streifen sichtbar, so wirkt es um so stärker dissimilierend. An der Stelle des Streifens hat dagegen die erregbare Substanz und mit ihr die *D*-Erregbarkeit abgenommen, die Dissimilierung und das Gewicht der Empfindung ist trotz gleichbleibenden Reizes kleiner geworden, und die plötzliche Steigerung der Assimilierung wirkt um so stärker verdunkelnd (S. 207)«.

Hering giebt selbst an, dass der Versuch nur eine Abänderung desjenigen sei, wenn man nach Fixierung eines weißen Quadrats auf schwarzem Grunde den Blick auf eine weiße Fläche richtet. Alsdann sieht man mit der Stelle, die dem Quadrat entspricht, die weiße Fläche bekanntlich viel dunkler. Diese Verdunklung ist dann ebenfalls die Folge der durch die Umgebung begünstigten Assimilation. Nun sieht man aber auch die Stelle des Quadrats in eben dem Verhältnis ungleich dunkler als die Umgebung, wenn man den Blick auf eine schwarze Fläche richtet, selbst wenn diese schwarze Fläche noch dunkler ist, als die frühere Umgebung des fixierten Quadrats. Alsdann ist eine Vermehrung der Assimilation infolge der Reizung der Nachbarschaft vollkommen ausgeschlossen; woher also die Verdunklung? Hering könnte

sich hier auf die schiefe Ebene der Relativitätslehre zurückziehen, wozu er freilich bei der berechtigten Abneigung, die er gegen alle Zurückführung von Empfindungsthatsachen auf Urteilsvorgänge oder centrale Prozesse besonderer Art hegt, sich nur ungern entschließen wird. Man könnte sagen, die Teile der Netzhaut, welche nicht so stark gereizt waren, also der Grund, seien infolge der relativen Ruhe und der Aufspeicherung des Assimilationsmaterials in einen Zustand gesteigerter *D*-Erregbarkeit geraten; sieht man nun nach Fixierung eines weißen Quadrats auf schwarzem Grunde auf eine beliebige Fläche, so erkläre sich die relative Dunkelheit der Stelle des Quadrats zu der relativen Helligkeit der Stelle des Grundes durch die Helligkeit, in welcher diese letztere infolge der gesteigerten *D*-Erregbarkeit erscheinen müsse. Es wäre dann die Verdunkelung der Stelle des weißen Quadrats nur Schein oder Täuschung. Diese Ausflucht, die nicht in der Richtung des Heringschen Denkens liegt, würde versagen, sobald man die absoluten scheinbaren Helligkeiten in Rechnung zieht. Es lässt sich durch Vergleichung die Helligkeit, welcher die Stelle des weißen Quadrats scheinbar gleich wird, zahlenmäßig bestimmen; und auch wenn dies nicht der Fall wäre, wird der unbefangene Beobachter über eine wirkliche Verdunkelung nicht im Zweifel sein. Wenn hier eine Täuschung vorliegt, so ist von einer Konstanz auf dem Gebiete der Empfindungen überhaupt nicht die Rede.

Thatsächlich liegt ein solcher Rückzug Herings oder eine ähnliche Erklärung in dem dritten von ihm besprochenen Falle vor. Die Auseinandersetzung Herings lautet: »Lege ich einen schmalen weißen Streifen auf schwarzen Grund, fixiere denselben eine Weile und ziehe ihn dann rasch weg, oder schiebe ein gleich schwarzes Blatt darüber, so erscheint nun das Schwarz an der Stelle des früheren Streifens dunkler

und in der nächsten Umgebung heller als kurz vorher. Während der Betrachtung des weißen Streifens wurde in seiner Umgebung die Assimilierung gesteigert, an der Stelle des Streifens aber nahm die *D*-Erregbarkeit ab, während eine irgend erhebliche *A*-Ermüdung, d. h. Erschöpfung des Assimilierungsmaterials nicht stattfand. Deshalb erscheint zwar bei genauer Beobachtung im ersten Momente nach Entfernung des weißen Streifens an seiner Stelle ein schwach grauer (das positive, jetzt aus dem Fortklingen der Erregung erklärte Nachbild), sehr schnell aber wird die Stelle ganz schwarz, während ihre Umgebung sich aufhellt, weil hier die vorhergegangene Unterstützung der Assimilierung weggefallen ist und das schwache Licht der schwarzen Fläche sowie die inneren Reize jetzt eine gesteigerte *D*-Erregbarkeit finden«.

Nach Hering erscheint also die Stelle des weißen Quadrats im Gegensatz zu der Umgebung »ganz schwarz«. Dann reichte die Erklärung aus. Sie erscheint aber nicht einfach ganz schwarz, sondern viel schwärzer als vorher. Es tritt eine wirkliche Verdunkelung ein; diese ist nicht erklärt. Dass die Erscheinungen dieses Falles von Hering nicht ausreichend beschrieben sind, tritt wieder deutlich hervor, wenn man an Stelle des schwarzen Grundes einen grauen nimmt, der nur irgendwie dunkler zu sein braucht als das weiße Quadrat. Auch dann verdunkelt sich die Stelle des Quadrats nach Fortziehen desselben, während doch eine Fortsetzung der Dissimilation stattfindet.

Der umgekehrte Fall ist derjenige, wenn zwei schmale weiße Streifen auf schwarzem Grunde so liegen, dass ein 1 cm breiter schwarzer Streifen frei bleibt. Wird dieser fixiert, so verblasst er immer mehr. Die Verblassung tritt besonders deutlich hervor, wenn die beiden weißen Streifen fortgezogen werden; sie ist aber bereits vorher genau so vorhanden; von

der vorübergehenden besonderen Ausstrahlung (Lichthof) beim Fortziehen muss dabei abgesehen werden.

Worauf beruht hier die Aufhellung? Nach Hering auf »der schon erklärten successiven Lichtinduktion.« Vom umgebenden Weiß aus ist also die Assimilation in dem kleinen schwarzen Streifen gesteigert; infolge der vermehrten *D*-Erregbarkeit und unter dem Einfluss der inneren Reize tritt eine Dissimilation an der Stelle des früheren schwarzen Streifens vor Fortzug der umgebenden hellen Reize ein. Es kann zugegeben werden, dass die Theorie soweit mit den subjektiven Erscheinungen in Einklang ist. Ebenso im vierten Fall, wenn ein schwarzes Quadrat auf weißer Fläche fixiert wird. Nach Fortziehen des schwarzen Quadrats erscheint die betreffende Stelle der weißen Fläche viel heller als das Weiß der übrigen Fläche, infolge der doppelt gesteigerten *D*-Erregbarkeit.

Die Erklärung versagt aber auch hier, wenn man zu mittleren Werten von Helligkeiten und zu quantitativen Bestimmungen übergeht. Wählt man an Stelle des Schwarz ein Grau, das nur wenig dunkler ist als die Helligkeit des Grundes, so tritt die Aufhellung des Grau ebenfalls ein, und eine Fläche, auf die man nach Fixierung den Blick richtet, erhellt sich, ganz unabhängig von ihrer eigenen Helligkeit. Es lässt sich leicht übersehen, dass diese Thatsache durch die Heringsche Theorie nicht erklärt ist.

Wir halten uns daher zu dem Schluss berechtigt, dass einmal die Theorie Herings von Anfang an eine innere Unklarheit in bezug auf die Reihe der Helligkeitsempfindungen und deren Abhängigkeit von der Quantität seiner Urprozesse enthält, dass sie weiter von ihren eigenen Voraussetzungen aus die subjektiven Erscheinungen nicht zu erklären imstande ist, dass diese ihr vielmehr zum größten Teil widersprechen, dass endlich die Undurchführbarkeit noch viel auf-

fallender hervortritt, wenn man auf die quantitativen Verhältnisse der Beeinflussung der Helligkeitsempfindung durch die Nachbilder Rücksicht nimmt.

Wir glauben also nachgewiesen zu haben, dass weder die Ermüdungstheorie, noch diejenige Herings heute noch aufrecht erhalten werden kann.

Das Versagen der Heringschen Theorie in dieser Frage ist eine herbe Enttäuschung, nicht blos weil sie die einzige Zuflucht schien, nachdem die Ermüdungstheorie als mit den Thatsachen in vollem Widerspruch stehend sich herausgestellt hatte, sondern auch weil sie in ihren Grundvorstellungen den psychologischen Anforderungen weit entgegenkommt. Wir haben nur noch Weniges über das, was eine neue Theorie leisten müsste, hinzuzufügen. Die Anschauung, wie sie sich uns aufdrängte, dass die Nachbilder selbständige, auf selbständigen physiologischen Prozessen (Nachwirkungen der photochemischen Folgen des Lichteindrucks) beruhende psychische Erscheinungen sind, welche das normale Sehen unberührt lassen, ist für die Theorie keineswegs bequem. Wir haben bei Entstehung irgend eines Nachbildes, etwa bei Fixierung einer kleinen weißen Fläche auf dunkler Unterlage, mögen wir den Blick festhalten oder fortwenden, dann jedesmal eine schon in ihrem subjektiven Bestand komplexe Erscheinung vor uns. Zu derselben Konsequenz ist die Heringsche Theorie an sich nicht gezwungen, obschon sie dieselbe zulässt. Es könnte der doppelte Prozess auf der Netzhaut (Assimilation und Dissimilation) eine einheitliche, subjektive Folge haben. Das Verhältnis $\frac{D}{A}$ ist dann das eigentliche physiologische Äquivalent der Helligkeitsempfindungen im strengen Sinne, nicht ist D als das eine, A als das andere und $\frac{D}{A}$ nur als Maß der Gesamtwirkung anzu-

sehen. Zwei verschiedenartigen Prozessen stände eine einheitliche Empfindung gegenüber. Im Grunde ist dies wohl Herings Meinung; und doch spricht er von einer Empfindung Schwarz und einer Empfindung Weiß, die in einem Grau enthalten sein soll, wie eine Empfindung Rot, eine Empfindung Gelb nach ihm in der Empfindung Orange liegen soll. Diese letztere Vorstellungsweise halte ich so lange für unberechtigt, als sich die komplexe Empfindung Orange oder Grau nicht in ihre Komponenten (Rot und Gelb, Schwarz und Weiß) wirklich zerlegen lässt. Der subjektive Befund muss für die psychologische Auffassung maßgebend bleiben. Der subjektive Befund ist aber eine Empfindung Orange oder Grau, die keine weiteren Teilungen zulässt, die aber anderen Empfindungen mehr oder weniger ähnlich ist. So könnte auch die Helligkeit, die entsteht, wenn ich ein Nachbild entwickle, als direkter Ausdruck der dann vorliegenden Prozesse, im allgemeinen also Zersetzungs- und Wiederherstellungsprozesse der Sehsubstanz angesehen werden, in jedem Augenblicke wäre dann nur eine bestimmte Empfindung vorhanden.

So liegt also die Sache unserer neu gewonnenen Anschauung nach nicht. Wir konnten von Anfang an feststellen, dass die Nachbilder die Sehfähigkeit des Auges ganz ungestört lassen, dass sie verschwinden und wiederkehren, während die Leistung des Auges die normale ist, dass sie nur, wenn sie in die Aufmerksamkeit gelangen, die subjektive Helligkeit der betreffenden gesehenen Stelle beeinflussen, dass sich mit derselben Netzhautstelle, durch deren Dauererregung ein Nachbild entstanden war, diejenige Helligkeit einstellen ließ, welche als Folge der Beeinflussung der Helligkeit durch das Nachbild sich ergiebt. Die Nachbilder bestehen danach als selbständige Empfindungen neben den fortgehenden und sich ändernden direkten Wahrnehmungen. Sie vereinigen sich nur bei er-

neuter Fixation mit den direkten Wahrnehmungen zu einer einheitlichen Gesamtwirkung, gerade so wie sich die Teiltöne zu dem einheitlichen Klang von gewisser Färbung verbinden. Die Analogie des Auges und des Ohres ist eine vollständige. Beim Ohr ist es eine Fülle bekannter Erscheinungen, welche längst in unserem Sinne aufgefasst ist. Es sind nicht nur die Klänge, sondern auch die Harmonieen (Disharmonieen) als psychische Mischung relativ selbständiger Empfindungen erkannt. Diese psychische Mischung lässt sich gerade so gut Verschmelzung nennen, falls man nur den bestimmten Begriff des Wortes festhält und nicht durch das Wort veranlasst ganz verschiedene Fälle miteinander verwechselt. Nur da darf von einem Verschmelzungsphänomen der Empfindungen geredet werden, wo die zu einer Gesamtwirkung sich verbindenden Teilempfindungen im Bewusstein aufweisbar sind. Sind sie es nicht, so ist es eine unbeweisbare Annahme, von Verschmelzungen von Empfindungen zu sprechen, so überträgt man Befunde der Reize ohne irgend welche Berechtigung auf die innere Erfahrung, die nur allein über sich selbst Rechenschaft geben kann.

Neben der psychischen Mischung der Empfindungen steht die objektive Mischung der Reize, neben der Verschmelzung der Empfindungen die Summierung der Reize zu einer Gesamtwirkung. Und hier sind wieder zwei wohl charakterisierte Fälle zu unterscheiden. Den ersten kann man als die periphere Verschmelzung oder das periphere Zusammenwirken der Reize bezeichnen. Ein bestes Beispiel dafür ist das Talbotsche Gesetz. Eine aus schwarzen und weißen Sektoren zusammengesetzte Scheibe macht in gewisser Geschwindigkeit gedreht einen Eindruck, dessen Helligkeit dem mittleren Werte der gesamten Sektoren gleich ist, gleich als wenn die Summe der Helligkeiten gleichmäßig auf der ganzen Fläche verteilt wäre, wie Helmholtz sich anschaulich ausdrückte. Die sub-

jektive Gleichheit des Aussehens der grauen Scheibe im einen und anderen Falle berechtigt zu dem Schlusse, dass der Wahrnehmungsprozess in beiden Fällen genau derselbe ist. Zu eben dem Schluss berechtigt der Umstand, dass zu dem Eintreten des Phänomens der peripheren Verschmelzung der Reize die Zeit eine gewisse Kürze erreicht haben muss. Ist die Zeit lang genug, so kann jeder Sektor für sich eine besondere Empfindung auslösen, der schnelle Wechsel der eben entstehenden Empfindungen heißt dann Flimmern. Ist die Zeit kürzer, so entstehen gar keine dem einzelnen Sektor entsprechende Empfindungen mehr, es entsteht das einheitliche Grau. Der Vorgang auf der Peripherie lässt sich dabei am besten mit Hilfe einfachster mechanischer Hilfsbegriffe anschaulich machen, die leicht in das Chemische übersetzt werden können. Stellen wir uns den Reizvorgang als Bewegung von Teilchen einer Perceptionssubstanz vor, so wird ein solches Teilchen bei Einwirkung von schwarzen und weißen Sektoren einen Weg zurücklegen, welcher, die schwarzen Sektoren als lichtlos vorausgesetzt, sich aus Ruhepausen, die den schwarzen Sektoren entsprechen, und aus Strecken, deren Länge der Intensität und Größe der weißen Sektoren proportional ist, zusammensetzt. Wirkt die gleichmäßige graue Scheibe ein, so wird dasselbe Molekülchen in der gleichen Zeit denselben Weg, aber mit gleichförmiger mittlerer Geschwindigkeit zurücklegen. Der Erfolg ist der gleiche, die mechanische Wirkung der Reize ebenfalls. Nur so erklärt sich auch der Umstand, dass eine weitere Beschleunigung der Geschwindigkeit von gar keinem Nutzen ist. Aus den Erscheinungen des Talbotschen Gesetzes lässt sich mithin weder für den nervösen peripheren oder centralen Erregungsvorgang, noch für die Empfindungen überhaupt etwas folgern, ihre Ursache liegt in peripheren Vorgängen.

Neben dem peripheren Zusammenwirken der Reize giebt es aber eine centrale Verschmelzung oder ein centrales Zusammenwirken von Erregungen, welche in ihrem peripheren Verlauf von einander mehr oder weniger unabhängig sind. Dahin gehören die Erscheinungen der Helligkeit der Farben. Die Änderungen der Helligkeit der Farben zeigen eine gewisse Unabhängigkeit von dem Farbenton, welche auf spezifische periphere Ursachen und deren Unabhängigkeit von einander hinweisen. Die Farbenempfindung dagegen ist psychisch eine einheitliche Erscheinung, die Helligkeit und die Farbigkeit lassen sich von einander nicht trennen.

Bei der psychischen Mischung oder Verschmelzung der Empfindungen dagegen ist diese Trennung möglich. Durch die geeigneten Maßnahmen lässt sich der Teilton isoliert beobachten, wie auch das Nachbild. Hier bestehen die Empfindungen als selbständige subjektive Vorgänge, aber doch für gewöhnlich mit andern ebenfalls bestehenden Empfindungen in so engem Zusammenhange, dass ein subjektiver Gesamteffekt herauskommt. Selbstverständlich sind für diese Art der Verschmelzung ebenfalls spezifische centrale Ursachen anzunehmen, die man sich aber hüten muss mit der centralen Verschmelzung der Reize zu verwechseln, und die im engsten Zusammenhang mit den centralen Bedingungen der Aufmerksamkeitsvorgänge stehen müssen.

Durch diese Entwicklung verschiedener Fälle glaube ich, was ich unter psychischer Mischung oder Verschmelzung von Empfindungen verstehe, möglichst deutlich gemacht zu haben.

Es folgt daraus für die Nachbilderscheinungen, welche Gegenstand unserer näheren Untersuchung waren, dass die beobachteten und gemessenen Helligkeiten nach längerer Fixierung einer bestimmten Stelle, wie oben bemerkt, kom-

plexe psychologische Erscheinungen sind, welche sich aus dem Nachbilde und dem direkten Eindruck zusammensetzen. Wir haben auch deshalb nur von einem Helligkeitswert der Nachbilder, nicht von deren wirklicher Helligkeit gesprochen.

Die Helligkeit der Nachbilder kann nicht gemessen werden, weil sie nicht isoliert zur Erscheinung zu bringen und zu vergleichen sind. Wir haben freilich anzunehmen, dass die Nachbilder im vollständig verdunkelten Gesichtsfeld ihre eigene Helligkeit zeigen. Es dürfte nicht leicht sein, diese ohne Störung ihrer selbst mit objektiven Helligkeiten zu vergleichen. Immerhin könnte es versucht werden. Dass die Helligkeit der Nachbilder im dunkeln Gesichtsfeld ihrem absoluten Werte nach eine andere ist, als bei Betrachtung irgend einer leuchtenden Fläche, ist in jeder Hinsicht selbstverständlich und leicht zu bemerken [1]).

Der Auffassung der Nachbilderscheinungen als Verschmelzung von aktuellen Empfindungen in dem angegebenem Sinne steht heute noch das Bedenken gegenüber, dass derartige Annahmen für den Sehsinn bisher nicht gemacht worden sind. Ich bin nun allerdings der Meinung, dass eine Fülle von Erscheinungen beim Sehen in ähnlicher Weise erklärt und dadurch dem Verständnis näher gebracht werden können. Zunächst sind es die Bewegungsvorstellungen, die auf Verschmelzung von Reihen einzelner Gesichtsbilder beruhen, wie aus der Möglichkeit der Zerlegung in eine Reihe von Einzelbildern und der Wiederherstellung aus denselben mir hervorzugehen scheint. Weiter scheint es mir unzweifelhaft zu sein, dass die Vorstellungen der beiden Augen, die sich zu einem Bilde zu vereinigen pflegen, thatsächlich beide neben und mit-

---

1) Doch vergl. Exner in den Ber. der Wiener Akad., 1872.

einander weiter bestehen, dass ihre scheinbare Vereinigung also eine Folge psychischer Deckung oder Verschmelzung im obigen Sinne ist. Endlich bin ich der Meinung, dass das dreidimensionale Sehen auf einer Succession und Verschmelzung einer Reihe von zweidimensionalen Raumbildern erklärt werden muss. Hier würde der experimentelle Beweis zu erbringen sein. Es könnte dies auf synthetischem Wege geschehen, indem man das dreidimensionale Bild durch eine Reihenfolge zweidimensionaler Phasenbilder entstehen ließe. Auf diese Weise würden sich die Nachbilderscheinungen in eine Fülle anderer ähnlicher Vorkommnisse beim Gesichtssinn einreihen. Es bleibt der Zukunft vorbehalten, über diese Vermutungen Gewissheit zu bringen.

Fragt man endlich, wie denn nun der physiologische Vorgang, auf welchem die Nachbilder beruhen, beschaffen sein müsse, so sind die Anforderungen, die hier zu stellen sind, eigentümlicher Natur. Der nahe liegende Gedanke, dass die physiologischen Prozesse, welche die Nachbilder und deren Helligkeitsverteilung bedingen, zu denen, welche die ursprüngliche Wahrnehmung hervorrufen, sich verhalten wie die negative Platte zum positiven Bilde, führt nicht zum Ziel. Denn die Helligkeitsverteilung des Negativs hängt von den Intensitäten der überall wirksam werdenden Lichter, die der Nachbilder aber von den einzelnen Intensitäten und deren Umgebung ab. Eine bestimmte Lichtstärke zersetzt dasselbe Quantum der photochemischen Substanz, wo auch immer das Licht wirksam wird, dagegen erzeugt ein in das Auge fallendes Licht gleicher Intensität ein aufhellendes Nachbild, wenn die Umgebung von stärkerem Licht, ein verdunkelndes, wenn sie von schwächerem Licht getroffen wird. Das Organ des Auges reagiert auf die Gesamtheit der einwirkenden Lichter in dieser ausgleichenden Weise, dass die Helligkeiten

sich einander anzunähern streben. Es scheint eine Art Energieausgleichung bei länger anhaltenden Reizen stattzufinden. Über die Art derselben das Nähere festzustellen, wird der direkten Untersuchung und den Physiologen vorbehalten bleiben müssen. Jedenfalls aber darf diese nicht zu verkennende Schwierigkeit nicht länger der Grund sein, dass man die Nachbilderscheinungen in einer den Thatsachen offenkundig und direkt widersprechenden Weise aufzufassen sich begnügt. Vermutlich wird eine wirklich genügende Erklärung über den ganzen Sehvorgang helles Licht verbreiten. Der Psychologie kann es genügen, durch Aufdeckung der subjektiven Thatsachen den Anstoß zu solchen Bemühungen zu geben.

3.

Eine neue Methode zur Bestimmung der Helligkeit der Farben

von

Götz Martius.

Mit 4 Figuren im Text.

In der vorigen Arbeit ergab sich das Gesetz, dass, wie auch immer die Intensitäten gemischten (weißen) Lichtes, das auf die Netzhaut wirkt, verteilt sind, bei längerer Fixation oder bei längerer gleich bleibender Einwirkung des Lichtes eine von einem stärkeren (heller erscheinenden) Reize umgebene Stelle sich aufhellt, eine von einem schwächeren (dunkler erscheinenden) Reize umgebene sich verdunkelt. Hell und Dunkel entsprechen in bezug auf die farblose Lichtempfindungsreihe (die Reihe von Weiß durch Grau bis Schwarz) stärkeren und schwächeren Intensitäten der Reize, des gemischten weißen Lichtes.

Die von homogenem (farbigem) Licht ausgehende Wirkung auf das Auge ist von der des gemischten Lichtes zwar gänzlich verschieden; indessen drängt es sich der Beobachtung doch von selbst auf, dass die Qualität der von homogenen Lichtreizen erzeugten farbigen Empfindungen der Qualität der farblosen Empfindungsreihe auch wieder nahe verwandt ist und sich mit dieser vergleichen lässt. Eine Farbenempfindung enthält, wie man sich auszudrücken pflegt, eine doppelte

Komponente, den eigenartig farbigen Bestandteil und einen zweiten, der im allgemeinen als die Helligkeit der Farbenempfindung zu bezeichnen ist und die Ähnlichkeit mit den farblosen Empfindungen vermittelt.

Am leichtesten wird dieser farblose Bestandteil einer Farbenempfindung bemerkt, wenn der Reiz nicht aus rein homogenem Licht besteht, sondern mit mehr oder weniger weißem Licht von geringerer oder größerer Intensität gemischt ist, bei den Sättigungsstufen der Farben. Ein sehr helles Rosa, ein dunkles Grün oder ein Braun lässt die nahe Verwandtschaft und große Ähnlichkeit einerseits mit einem hellen, andrerseits mit einem dunklen Grau deutlich hervortreten. Nicht so leicht ist die Helligkeitskomponente satter Farben zu erkennen, aber auch diese erweisen sich als verschieden hell. Und es wird nicht leicht jemandem vor einem Spektrum der große Unterschied der Helligkeit des Gelb und des Violett, um gleich die Extreme zu nennen, entgehen. Nimmt man aber ein schönes spektrales Rot und ein ebensolches Blau, so scheinen dem unbefangenen Beobachter durchaus einheitliche Empfindungen vorhanden zu sein, deren Qualität oder Inhalt durch das mit den Worten Rot und Blau Bezeichnete erschöpft ist.

Dass das nicht richtig ist, dass alle spektralen Farben, auch die gesättigten eine Helligkeitskomponente enthalten, ist zwar nicht durch die subjektive Analyse des Inhalts solcher farbigen Empfindungen zu beweisen, es folgt aber aus einer Reihe von Thatsachen, welche keine andere Auslegung zuzulassen scheinen.

Lässt man in einem dazu geeigneten Zimmer die Beleuchtung allmählich abnehmen, so verschwinden die verschiedenen Farbentöne nacheinander, die den Gegenständen bei gewöhnlicher Beleuchtung eigen sind, die Farbenempfindung sinkt

unter die Schwelle. Es bleiben aber deutliche Helligkeitsempfindungen bestehen, die große Unterschiede zeigen und qualitativ genau den Empfindungen entsprechen, welche von verschieden hellen Flächen, die mit weißem Licht beleuchtet sind, ausgehen. Ein lichtschwaches Spektrum, im Dunkelzimmer betrachtet, stellt einen farblosen Streifen in den verschiedensten Helligkeitsstufen dar. Es kommt hinzu, dass die Farbenblinden, also Personen, welche für die farbige Wirkung der homogenen Lichtreize unempfindlich sind, doch die farbigen Gegenstände in verschiedenen Helligkeiten wahrnehmen und dass, wie Hering erst vor kurzem an einem Beispiel zeigte, die Art, wie einem total Farbenblinden ein Spektrum erscheint, übereinstimmt oder übereinstimmen kann mit der Art, wie auch dem Farbentüchtigen bei minimaler Beleuchtung die Helligkeiten desselben verteilt erscheinen. Alles Beweise, dass die homogenen Lichtarten unter Umständen Wirkungen hervorbringen, die denen des weißen Lichtes genau gleich sind und der farbigen Komponente ganz entbehren, dass sie unter gewöhnlichen Verhältnissen dagegen eine Empfindung erzeugen, welche auch die Eigentümlichkeiten der farblosen Komponente zeigt, eben die Helligkeit der Farbenempfindung, zugleich aber den farbigen Bestandteil enthält.

Hering gebührt das Verdienst, diese verwickelten Verhältnisse zuerst in genügender Weise aufgeklärt und auf die relative Selbständigkeit des farblosen Bestandteils der Farbenempfindungen immer wieder hingewiesen zu haben. In der Annahme einer Schwarzweißsubstanz, welche den beiden farbigen Substanzen gegenüber steht und auch durch die homogenen Lichter zersetzt werden kann, haben diese Verhältnisse bei ihm ihren zureichenden theoretischen Ausdruck gefunden. Und es hat den Anschein, als ob gerade in diesem wichtigen Punkte auch der letzte der bisherigen Anhänger der

Helmholtzschen Theorie bald vor der Heringschen kapitulieren werde.

Unter diesen Umständen gewinnt die Aufgabe, die Helligkeit einer Farbenempfindung zu bestimmen, oder zu bestimmen, welchem Grau die Helligkeit einer bestimmten Farbenempfindung gleich ist, »eine große theoretische wie praktische Bedeutung« (cf. Hering in Pflügers Archiv, Bd. 49, S. 566).

Die einfachste Methode, diesen Zweck zu erreichen, wäre die direkte Vergleichung einer farbigen Fläche mit einer variabeln grauen und die Einstellung der letzteren auf dem Punkte der scheinbaren Gleichheit. Dieser Weg ist vielfach und mit den verschiedensten Variationen betreten worden. Er würde auch ein durchaus sicherer und zuverlässiger sein, falls wirklich die Helligkeitskomponente einer Farbenempfindung, während diese besteht, ein unterscheidbarer Teil derselben wäre, ähnlich wie der Oberton durch geeignete Lenkung der Aufmerksamkeit von dem Grundton, zu dem er gehört, als selbständige Teilempfindung deutlich unterschieden werden kann. Ließe sich eine Farbenempfindung durch die Aufmerksamkeit in ihren farbigen und farblosen Bestandteil wirklich zerlegen, so dass man willkürlich mehr den einen oder den anderen im Bewusstsein hervortreten lassen könnte, so würde man auch ein Grau leicht und genau mit dem farblosen Bestandteil einer Farbenempfindung vergleichen oder danach einstellen können. Das ist aber nicht der Fall. Die Farbenempfindung ist und bleibt, so sehr man auch eine solche Zerlegung hervorzubringen sich bemüht, eine durchaus einheitliche. Die Selbständigkeit der Helligkeitskomponente ist keine subjektive, sie besagt nur, dass das, was wir die Helligkeit einer Farbenempfindung nennen, in anderer Weise eine Funktion der Reizveränderungen ist, als das, was wir den farbigen Bestandteil nennen. Die notwendige Folge hiervon ist, dass

die direkte Vergleichung einer Farbenempfindung mit einem farblosen Grau unsicher ist, mag man neben der farbigen Fläche irgend eine farblose variieren und im Punkte der scheinbar größten Gleichheit einstellen oder eine fein abgestufte Skala von farblosen Helligkeiten herstellen und diejenige bestimmen, welche einer farbigen Fläche am ähnlichsten erscheint oder wie sonst verfahren. Die Vergleichung ist unsicher und führt nicht unmittelbar zum Ziele. Es zeigt sich das am besten, wenn man einem ungeübten Beobachter eine Reihe von abgestuften grauen Papieren giebt und ihn die Frage beantworten lässt, welches von denselben einer bestimmten Farbe gleich erscheine. Er wird zuerst oft selbst die Möglichkeit der Beantwortung der Frage zu verneinen geneigt sein. Gleichwohl ist richtig, dass bei der Ausführung solcher Versuche sich ziemlich schnell eine gewisse subjektive Sicherheit und auch Konstanz des Urteils einstellt. Ebenso richtig ist es aber, dass das Urteil in verschiedenen Umständen und bei verschiedenen Personen wieder auffallende Schwankungen zeigt. Beides ist nach der Natur der das Urteil ermöglichenden Verhältnisse nicht zu verwundern. Da in dem Empfindungsinhalt als solchem ein sicherer Anhaltspunkt für die Vergleichung zunächst nicht gegeben ist, weil der farblose Bestandteil der Farbenempfindung nicht isoliert zum Bewusstsein gebracht werden kann, kommt das Urteil über die scheinbare Helligkeit auf indirektem Wege durch Übung und Überlegung zu Stande, hängt also von dem Grade der Übung und der Richtigkeit der Überlegung, und nicht von dem unmittelbaren Empfindungsinhalt allein ab. Welcher Art diese Übung und Überlegung ist, ist leicht zu verstehen. Vergleiche ich z. B. einen farbigen Eindruck mit einer ganzen Skala farbloser, so ergeben sich schnell gewisse Anhaltspunkte für das geforderte Urteil. Es handle sich um eine Farbe von etwa spektralem

Charakter. Die ganz dunkeln und die ganz hellen Teile der Skala fallen von vornherein fort. Es bleibt ein gewisses mittleres Gebiet zur Wahl übrig. Ist nun die Farbe hell, etwa Gelb, so ist der hellere Teil, ist die Farbe dunkel, etwa Violett, so ist der dunklere Teil dieses mittleren Gebietes für die Vergleichung bevorzugt, und es folgt dann eine allmähliche Einordnung der übrigen Farben. Habe ich aber erst einmal ein gewisses Grau gefunden, das der Helligkeit der zu bestimmenden Farbe am meisten zu ähneln scheint, so finde ich dieses Grau bei fortgesetzten Bestimmungen auch leicht wieder. Es hat eine Identifikation (eine Einstellung würde G. E. Müller sagen) stattgefunden, die nun einfach mit Hilfe des Gedächtnisbildes wiederholt wird. Ein anderes Mal und bei einer anderen Person kann dieser Vorgang zu erheblich anderen Resultaten führen. Es kann aber auch bei fortgesetzten Versuchen schließlich eine solche Übung erzielt werden, besonders wenn zahlreiche Beobachtungen über weniger gesättigte Farben und den Einfluss der Zumischung weißen Lichtes auf eine Farbenempfindung hinzukommen, dass die Urteile einer so geschulten Person von den wirklichen Verhältnissen nicht viel abweichen werden, und es ist auch nicht zu leugnen, dass das Wirksame bei dieser indirekten Bestimmung der Helligkeit der Farbenempfindung, das was die Vergleichung ermöglicht, wirklich die Helligkeitskomponente ist, soweit sie sich in dem Gesamteindruck zur Geltung bringt.

Man sieht, dass diese direkte Vergleichung in Wirklichkeit eine sehr indirekte ist und der wünschenswerten Sicherheit entbehrt. Und es folgt zugleich aus dem Gesagten, dass über die Natur jener Helligkeitskomponente aus der Methode heraus ein Schluss überhaupt unzulässig ist. Sobald Zweifel entstehen, ob die Helligkeitskomponente einem Grau, das in die Gesamtempfindung einginge, wirklich entspricht, ob in

dem Sinne Herings zu reden, die Weißvalenz und die Helligkeit einer Farbenempfindung dasselbe ist, oder ob die Helligkeitskomponente mitabhängig ist von Reizvorgängen, die sonst mit der Erzeugung von Helligkeitsempfindungen nichts zu thun haben, muss die Methode vollständig versagen. Und solche Zweifel sind bekanntlich entstanden.

Eine ganz verschiedene Methode zur Bestimmung der Helligkeit einer Farbenempfindung ist die Vergleichung einer farbigen Fläche im Dunkelzimmer bei minimaler Beleuchtung mit einer farblosen variabeln. Sie bietet nicht die geringsten subjektiven Schwierigkeiten, die schwach belichteten farbigen Flächen sehen den farblosen so gleich, dass eine genaue Einstellung und Vergleichung mit Leichtigkeit von statten geht. Aber eine andere Schwierigkeit tritt hier ein. Die Methode beruht auf dem Gedanken, dass bei sehr schwacher Beleuchtung, wenn der farbige Bestandteil der Gesamtempfindung unter die Schwelle gesunken ist, der Helligkeitsbestandteil rein und isoliert übrig bleibt, d. h. in derselben relativen Stärke, wie er übrig bleiben würde, falls man sich bei normaler Beleuchtung eine Farbenempfindung in das Farblose verwandelt denkt. Wer steht aber dafür, dass dies der Fall ist, dass die Wirkungsart eines homogenen Lichtes von geringster Intensität nicht überhaupt eine andere ist, als die einer gleichen Lichtart von größerer Energie? Das dunkeladaptierte Auge bringt den Reizen stark veränderte Bedingungen entgegen. Es ist also sehr fraglich, ob es zulässig ist, die unter solchen Bedingungen gewonnenen Ergebnisse zum Maßstab für das normale Farbensehen zu machen.

Unter diesen Umständen musste es von besonderem Wert erscheinen, eine neue Methode zur Bestimmung des Helligkeitswertes einer Farbenempfindung zu finden, welche die Unzuträglichkeiten und Mängel der bisherigen gleicherweise

vermied. Eine solche Methode hätte einerseits die Farbenempfindungen, wie sie unter gewöhnlichen Bedingungen entstehen, zu untersuchen, andererseits müsste sie sich auf den in den Farbenempfindungen vorhandenen Helligkeitsbestandteil direkt stützen. Dies letztere ist nun nach den obigen Ausführungen über die subjektive Natur der Farbenempfindung unmöglich. Denselben Erfolg würde aber irgend eine Wirkung dieser als vorhanden zu postulierenden Helligkeitskomponente haben können, falls eine solche nur wirklich in der Empfindung deutlich zum Bewusstsein gebracht würde.

Es lag nahe, diesen Zwecken das oben gefundene Helligkeitsgesetz der Nachbilder dienstbar zu machen, welches lehrt, dass irgend eine Helligkeit, irgend ein Grau, einige Zeit auf hellerem Grunde betrachtet, sich aufhellt, auf dunklerem Grunde sich verdunkelt. Angenommen, dass farbige Eindrücke sich gerade so verhalten, wie es doch wahrscheinlich ist, wenn eine Farbenempfindung ein Grau sozusagen in sich enthält, so wäre in der Wirkung der Nachbilder, in der Aufhellung oder Verdunkelung durch dieselben, ein solches in der Empfindung und dem Bewusstsein wirklich vorhandenes Moment gefunden, das zur Feststellung der Helligkeit einer Farbenempfindung dienen kann.

Es kam also zunächst darauf an zu versuchen, ob oder wie weit sich dieser Gedanke, das Helligkeitsgesetz der Nachbilder auf Farben anzuwenden, durchführen lässt, und es war sodann die Methode der Feststellung der Helligkeit der Farbenempfindung mit Hilfe der Nachbilder auszubilden. Von etwaigen theoretischen Folgerungen über das Wesen dieser Helligkeit ist dabei zunächst ganz abgesehen.

Von Anfang an boten sich zwei Wege, auf denen man vorgehen kann. Man kann entweder eine farbige Fläche auf eine graue, variabele Unterlage legen und diese letztere so

lange verändern, bis die Grenzen, innerhalb deren der Wechsel von Aufhellung und Verdunkelung statt hat, gefunden sind, oder man legt eine variabele graue Fläche auf einen farbigen Hintergrund und bestimmt ebenfalls jene Grenzen. Im Prinzip müssten beide Methoden gleich gut gelingen. Es zeigt sich aber schnell, dass bei der ersten Methode, wenn man Farbe auf Grau fixiert, ein nicht zu beseitigender Übelstand sich störend einmischt, die Komplementärfarben der Nachbilder. Ebenso schwer, wie es ist zu sagen, ob ein direkter Farbeneindruck dunkler oder heller ist als ein farbloser, ebenso schwer ist dies von einem farbigen Nachbild zu erkennen. Es wiederholen sich hier die Schwierigkeiten der direkten Methode. Fixiert man aber ein Grau auf einem farbigen Hintergrund, so ist dies nicht der Fall oder wenigstens bei weitem nicht in gleichem Maße. Ganz fehlt hier die Farbigkeit des Nachbildes nicht in Folge der Induktion. Eine graue Fläche auf farbigem Grunde erscheint durch Induktion in den Komplementärfarben des Hintergrundes, wenn diese auch der Wahrnehmung des ungeübten Beobachters sich entzieht. In dem Nachbild tritt aber die Komplementärfarbe der induzierten Fläche, also nun wieder die Farbe des Hintergrunds selbst, Jedermann wahrnehmbar hervor, jedoch nur als ganz schwache Beimischung zu der Helligkeitsempfindung, die an ihrer Erkennbarkeit dadurch eine geringe Einbuße erleidet.

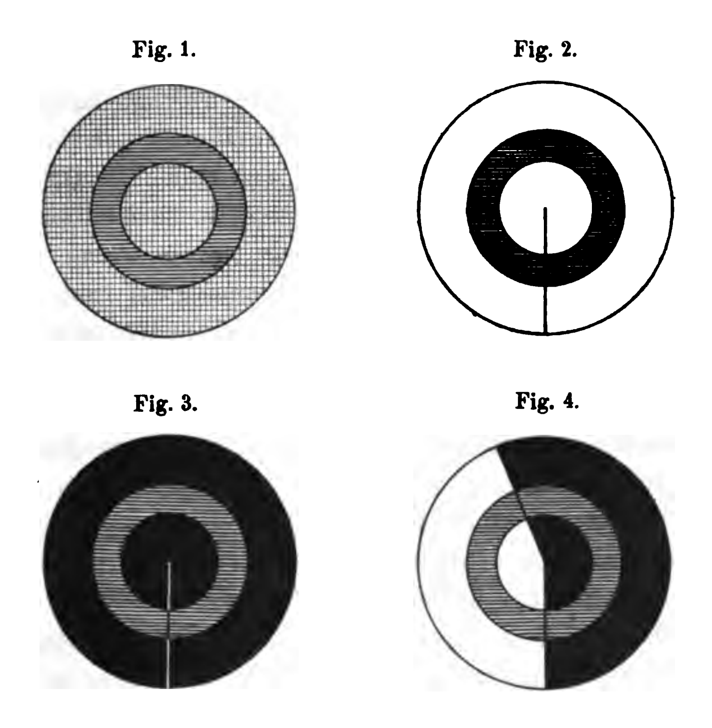
Legt man also ein graues Stück Papier auf eine farbige Fläche, so wird nach dem Fechnerschen Gesetze des Helligkeitswertes der Nachbilder bei längerer Fixation das Grau des Papiers sich aufhellen, falls die Unterlage heller ist als das Grau, und es wird sich verdunkeln, falls die Unterlage dunkler ist. Nimmt man ein kleines weißes und ein kleines schwarzes Stück Papier, das man auf einen farbigen Bogen legt, zu einem vorläufigen Versuch, so kann man leicht beobachten, dass bei

diesen das Gesetz sich wirklich bestätigt und die Beobachtung leicht gemacht werden kann. Damit ist noch nicht bewiesen, dass auf dem geschilderten Wege eine wirklich ausreichende Messung der Helligkeit einer Farbe möglich ist. Denn es könnte ja sein, dass eine genaue Beobachtung der Veränderung der auf farbigem Grund fixierten Helligkeit nur bei großer Verschiedenheit von Grund und Grau möglich wäre, dass also das Helligkeitsgesetz der Nachbilder auch bei farbigen Gründen sich im allgemeinen bestätigte, ohne doch zu einer brauchbaren Methode der Helligkeitsvergleichung zu führen.

Bei den ersten Versuchen erschien dies auch so. Ein kleines Scheibenpaar nach Maxwell, von denen die eine schwarz, die andere weiß war, wurde auf eine größere farbige Scheibe gelegt und die drei Scheiben zusammen auf einen Rotationsapparat gebracht. Es wurde nun versucht durch allmähliche Einstellung die Grenzen des variablen Grau zu bestimmen, innerhalb welcher weder eine Aufhellung, noch eine Verdunkelung bei längerer Fixation eintrat. Die Versuche glückten auch im Ganzen, jedoch zeigten sich eigentümliche Schwankungen, die von unbestimmbaren Einflüssen abhängig zu sein schienen. Die Vermutung, dass dieselben durch den Hintergrund und seinen Einfluss auf die farbige Scheibe verursacht wurden, lag nahe genug. In der That wurden die Resultate sogleich konstant, als hinter der farbigen Scheibe ein zweites schwarzes und weißes Scheibenpaar angebracht wurde, das um einige cm über den Rand der Farbenscheibe hinausragte. Dieses zweite Paar wurde genau so variiert wie das erste.

Der Anblick, der dem Beobachter dargeboten wurde, war mithin der aus nachstehender Zeichnung (Fig. 1) ersichtliche. Die farbige Scheibe erschien als ein Ring auf gleichmäßig grauem Felde. Die jedesmalige gleiche Einstellung der

beiden Scheibenpaare im Innern und außerhalb des Ringes für jeden einzelnen Versuch war mühsam. In den späteren Versuchen wurde daher folgendermaßen verfahren. Auf einer schwarzen und einer weißen Scheibe wurde mit großer Sorgfalt ein Ringstreifen der zu untersuchenden Farbe aufgeklebt



und die beiden so hergerichteten Scheiben nach Maxwell mit einem Schlitz versehen und ineinandergeschoben. Fig. 2 und 3 stellen zwei solche Scheiben dar, in Fig. 4 sieht man, wie sie ineinander geschoben sind. Das Aussehen eines solchen Scheibenpaares in der Drehung ist dann dasselbe, wie im ersten Falle (Fig. 1).

Bei Ausführung der Versuche ist mit großer Sorgfalt zu verfahren. Um die Schwankungen der Tagesbeleuchtung zu

vermeiden, wurde bei den unten benutzten Versuchen ausschließlich im Dunkelzimmer gearbeitet.

Auf einem Bock war der oben (S. 53) abgebildete Heidelberger Drehapparat aufgestellt. In geeigneter Entfernung von demselben stand ein Tisch, auf welchem sich eine Gasglühlichtlampe (Auer) befand, die, von allen Seiten durch eine Schwarzblechbekleidung abgeblendet, ihr Licht durch eine vor der Flamme befindliche und in jene Bekleidung eingelötete Röhre aus gleichem Material entsandte. Die Höhe der Lampe war so eingestellt, dass die Flamme sich gerade in der Fortsetzung der Achsenrichtung der Drehscheibe befand. Der Beobachter saß auf einem Stuhle. Seine Augen waren etwas tiefer als die Scheibenhöhe. Die Entfernung zwischen Auge und Scheibe betrug c. $1^1/_2$ m, zwischen Licht und Scheibe 1 m.

Der Beobachter fixierte einen bestimmten Punkt oberhalb des Knopfes des Apparates in der mittleren grauen, resp. weißen oder schwarzen Kreisfläche. Eine bestimmte Zeit für die Fixation war nicht vorgeschrieben. Der Beobachter hatte von selbst anzugeben, wann er mit der Beobachtung zu einem Ergebnis gekommen war, also die Frage beantworten konnte, ob bei der Fixation die mittlere Fläche sich aufhellt oder verdunkelt. Im Anfang dauerte die Fixation oft ziemlich geraume Zeit. Bald jedoch tritt eine solche Übung ein, dass ein ruhiger Blick von einigen Sekunden oft genügt, um das verlangte Urteil mit großer Sicherheit zu geben. Es ist dies stets der Fall, solange der Helligkeitsunterschied zwischen mittlerem Grau und farbigem Ring noch groß ist. Je geringer dieser Unterschied wird, um so schwerer ist es für den Beobachter, die Aufhellung oder Verdunkelung des Grau zu bemerken, um so länger muss er fixieren, um zu einem sichern Ergebnis zu kommen. Schließlich ist es unmöglich, eine Veränderung zu erkennen, bis dann dieselbe im umgekehrten Sinne, wie vorher, wieder eintritt.

Bald stellte sich auch heraus, dass die Veränderung der mittleren Fläche nicht der einzige Anhaltspunkt für das Urteil ist. Wie nämlich dies mittlere Grau sich aufhellen muss, solange es dunkler ist als der farbige Ring, auf dem es gesehen wird, muss dieser sich verdunkeln, da er ebenso lange heller ist als sein Grund, der äußere graue Ring. Und umgekehrt, wenn das mittlere Grau sich verdunkelt, weil es heller ist als die Farbe, muss diese sich erhellen, weil sie dunkler ist als der äußere Rand. Der Beobachter nimmt also stets eine doppelte und entgegengesetzte Veränderung wahr. Endlich kann man, nachdem der Blick die geeignete Zeit lang ruhig fixiert gehalten ist und die geschilderten Veränderungen eingetreten sind, den Blickpunkt noch verlegen und von dem fixierten Punkt der grauen Mittelscheibe nach einem Punkte des farbigen Ringes hinsehen. Ist das vorhandene Nachbild ein verdunkelndes, so wird der farbige Ring dunkler erscheinen, ist das Nachbild ein aufhellendes, dagegen heller als vorher. Diese letztere Beobachtung pflegt demjenigen besonders leicht zu werden, der anfängt die Methode zu benutzen. Es ist aber unstreitig der minderwertigste Anhaltspunkt für das Urteil, weil die Schwierigkeiten, die mit der direkten Beurteilung farbiger Helligkeiten verbunden sind, auch hier wiederkehren. Eine Veränderung der Sättigung kann eine Verdunkelung einschließen und erscheint doch als eine Aufhellung. Die geringen Sättigungsveränderungen werden nur zu gern als Helligkeitsveränderungen aufgefasst, sind es aber keineswegs immer.

Ich gebe zunächst ein Versuchsprotokoll über die Helligkeitsbestimmung einer beliebigen Farbe aus der ersten Zeit unserer Beobachtungen. Dasselbe wird am deutlichsten den Verlauf einer solchen vorführen. Ich wähle als erste Probe eine Beobachtung des Herrn Dr. Marbe (Mb.) aus dem Beginne des Winterhalbjahres 1894. Herr Dr. Marbe, welcher

sich in dankenswerter Weise bei diesen Untersuchungen beteiligte, war bei Anstellung dieses Versuches noch ungeübt, er hatte nur von dem Helligkeitsgesetz der Nachbilder durch einige Vorübungen Kenntnis genommen.

In der ersten Rubrik der Tabelle (Sekt.) ist hier, wie später, die Anzahl der Grade Weiß oder Schwarz des mit der Farbe verglichenen Grau angegeben. Die drei folgenden Rubriken enthalten das Urteil über die Wirkung des entstandenen Nachbildes. Die erste Reihe bezieht sich auf das Nachbild der fixierten grauen Mittelscheibe, die zweite auf das Nachbild des farbigen Ringes und die dritte Reihe enthält die Urteile über die Wirkung des Nachbildes, wenn man von der fixierten Stelle fort auf den farbigen Ring seinen Blick richtet.

Tab. I.

Beobachter: Mb.

Die mittlere farbige Scheibe: Purpur (Kollektion Flinsch, Leipzig).

Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
90° s	»	»	»
180° s	»	»	»
270° s	»	»	»
290° s	»	»	»
300° s	schwach verd.	»	»
310° s	zweifelhaft	zweifelhaft	»
360° s	deutl. aufhellend	deutlich verd.	aufhellend
340° s	» »	»	»
320° s	» »	zweifelhaft	zweifelhaft

Der neutrale Punkt liegt zwischen 300° s und 330° s jedoch näher an 310° s, als an 320° s, da bei 320° s in der

ersten Rubrik noch eine Aufhellung bemerkt wurde, also etwa bei 312,5° s. Die Helligkeit der benutzten Purpurfarbe ist also gleich einem Grau, das aus 312,5° s und 47,5° w unter gleicher Beleuchtung gewonnen wird. Die Wahl des zur Gewinnung des Grau benutzten Papiers ist natürlich willkürlich, bei allgemeiner Verwendung der Methode dürfte es sich empfehlen, bestimmte Festsetzungen darüber zu treffen.

Ich lasse die eigene Beobachtung über dieselbe Farbe folgen:

Tab. II.

Beobachter: M.

Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
90° s	»	»	»
180° s	»	»	»
275° s	»	»	»
295° s	»	»	»
300° s	»	»	»
310° s	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
350° s	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
340° s	»	»	»
330° s	»	»	»
320° s	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft

Auch hier liegt der Gleichheitspunkt zwischen 300 und 330 und zwar genau in der Mitte bei 315° s.

In den eben mitgeteilten Versuchen wurde so zu sagen ein aufsteigendes und absteigendes Verfahren beobachtet, d. h. es wurde zuerst von Weiß ausgegangen, bis das Nachbild sich nicht mehr verdunkelte, sodann von Schwarz, bis es sich nicht mehr aufhellte.

In den folgenden Beispielen ist dies nicht mehr der Fall. Es stellte sich heraus, dass das Ausgehen von den beiden Endpunkten keinen Nutzen bringt und keine genaueren Resultate erzielt. Es genügt, von irgend einer Seite glatt voran zu gehen. In der Nähe des Gleichheitspunktes ist eine Sicherheit des Urteils nicht zu erzielen. Ob man von Schwarz oder Weiß kommt, ist daher gleich. Ein längeres Verweilen in der neutralen Zone, eine Anwendung der Minimalmethode durch Fortgehen von Grad zu Grad ist erst recht nicht zu empfehlen. Das Auge wird nur unnötig ermüdet und das Urteil verwirrt. Die Erfahrung lehrt nach meiner Meinung, von der schulmäßigen Anwendung irgend einer der Maßmethoden abzusehen, von 10 Grad zu 10 Grad fortzuschreiten und aus den dabei gefällten Urteilen auf die Lage des Gleichheitspunktes zu schließen. Die Regel war bei unseren Versuchen, dass die Grenze, innerhalb deren das Urteil schwankend wird, etwa 30 Grad beträgt. Beim Fortschreiten von 10 zu 10 Grad sind dann zwei Urteile zweifelhaft. Zumeist und immer bei dunklen Farben lässt aber das Beobachtungsergebnis noch erkennen, ob die Gleichheitslage mehr nach der einen oder mehr nach der anderen Seite liegt, wie in Tab. I. Der wirkliche Fehler einer solchen Bestimmung kann daher nur klein sein.

Es folgt dies aus der Erwägung, dass innerhalb dieser 30 Grad die wirkliche Gleichheitszone zwar liegt, aber keineswegs so, dass für den idealen Gleichheitspunkt ein freier Spielraum wäre. Denn es sind außer der eigentlichen Gleichheitszone zwei Schwellen vorhanden, der Übergang in die Gleichheitszone und der Austritt aus ihr. Die Größe dieser Schwellen ist nicht bekannt. Sie nehmen jedoch zusammen nicht unwahrscheinlich von den 30 Grad Spielraum wenigstens die Hälfte ein und zwar von beiden Seiten annähernd gleich

viel, so dass für die unbestimmbare Lage des idealen Gleichheitspunktes überhaupt nur höchstens 15° zur Verfügung stehen. Der wirkliche Fehler wird daher in den meisten Fällen als sehr klein anzunehmen sein.

Die Methode nimmt danach eine große Genauigkeit für sich in Anspruch, sie fußt auf sicheren, gesetzmäßig verlaufenden Empfindungsthatsachen und ist in der Ausübung so bequem, dass ein geübter Beobachter die Bestimmung einer Farbe schließlich in nicht viel mehr als $^1/_4$ Stunde machen kann. Bei eintretender Übung ist es selbstverständlich nicht mehr nötig, die ganze Skala der grauen Werte durchzuarbeiten. Es genügt, von einem deutlich helleren oder deutlich dunkleren Werte des mittleren Grau auszugehen, bis die Umkehrung eingetreten ist. Durch einige Vorversuche wird der Quadrant, in welchem die Gleichheit liegt, schnell ermittelt. Wenn die Methode einen Fehler hat, so ist es vielleicht der, dass sie gelernt werden muss und nicht ohne jede Übung angewandt werden kann. Aber dieser Fehler gehört glücklicherweise zu den leicht zu überwindenden. Dabei möchte ich den dringenden Rat geben, die Methode nicht eher zu versuchen, als bis man sich von der Richtigkeit des Gesetzes über den Helligkeitswert der Nachbilder wirklich überzeugt hat. Dann hat der Gedanke der Anwendbarkeit des Gesetzes auf die Farbenempfindungen schon an sich so viel Zwingendes, dass die kleinen Schwierigkeiten der Beobachtung, die sich im Anfange einstellen, schnell überwunden werden können. Fehlt die Überzeugung von der Richtigkeit jenes Gesetzes, so werden diese Schwierigkeiten leicht als unüberwindliche erscheinen und zu einer ungerechtfertigten Kritik Veranlassung geben.

Hat man die Helligkeit eines farbigen Papiers gefunden, und ist dieselbe einer bestimmten Wirkung des weißen Lichtes, einem bestimmten Grau gleich, so folgt daraus, dass die Hel-

ligkeit bestehen bleiben muss, falls man von dem gefundenen Grau beliebig viel hinzumischt[1]. Es kann daher eine solche Zumischung als Probe der Richtigkeit der Helligkeitsbestimmung angesehen werden. Einige dahin gehende Versuche zeigten, dass in der That die Helligkeitsbestimmung gleich ausfällt, wenn zu dem farbigen Ring 90°, 180°, oder 270° des gefundenen Grau hinzugefügt werden. Zu diesen Versuchen wurden ebenfalls die oben beschriebenen Scheiben benutzt, für den ausfallenden Teil des farbigen Ringes wurde ein Grau in dem für die betreffende Farbe gefundenen Verhältnis von Weiß und Schwarz hinzugefügt. Ich gebe die Resultate wieder für dasselbe Purpur, das schon oben als Beispiel benutzt ist.

Tab. III.

Beobachter: Mb.

Farbe: Purpur. Das mittlere Grau und der äußere Ring bestehen aus 312,5° Schwarz + 47,5° Weiß.

	a. Der farbige Ring 270° Purpur + 90° Grau (78° s + 12° w)		
Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
0	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
+ 50° s	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
+ 70° s	aufhellend	»	»
+ 20° s	»	»	»
+ 10° s	»	»	»
+ 10° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
+ 20° w	»	»	»

1) Vergl. A. Kirschmann, Philos. Studien, Bd. VI, S. 417 ff.

	b. Der farbige Ring 180° Purpur + 180° Grau (156,25° s + 23,75° w)		
Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
+ 0	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
+ 10° s	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
+ 10° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
+ 20° w	»	»	»
	c. Der farbige Ring 90° Purpur + 270° Grau		
+ 0	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
+ 10° s	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
+ 20° s	»	»	»
+ 10° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
+ 20° w	»	»	»

Tab. IV.

Beobachter: M.

	a. 270° Purpur + 90° Grau		
Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
+ 0	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
+ 10° w	verdunkelnd?	aufhellend?	zweifelhaft
+ 20° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
+ 10° s	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
	b. 180° Purpur + 180° Grau		
+ 0	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
+ 10° s	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
+ 10° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
	c. 90° Purpur + 270° Grau		
+ 0	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
+ 10° s	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
+ 10° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd

Man sieht, wie bei dieser Farbe durch die Zumischung des gefundenen Grau in verschiedenen Verhältnissen die Helligkeit des Gemisches sich nicht beeinflusst zeigte, wenn diese nach derselben Methode untersucht wurde. In allen Fällen war keine Veränderung der Helligkeit des farbigen Ringes, der in drei verschiedenen Sättigungsgraden erschien, durch das Nachbild zu bemerken. Änderte man aber das Grau des Grundes, auf welchem der farbige Ring betrachtet wurde, nur um ein Weniges durch Zufügung von entweder 10° w oder 10° s, stellte man also eine geringe Verschiedenheit des Grundes und farbigen Ringes her, sogleich gab sich dies bei der Fixation in den Änderungen kund, die nach dem Fechner-schen Gesetz des Helligkeitswertes der Nachbilder zu erwarten waren. Der nur um ein Geringes hellere Grund verdunkelte sich, während der farbige Ring sich aufhellte, und umgekehrt.

Ebenso verhielten sich die andern untersuchten Farben. Es traten dabei auch Fälle ein, wo die Hinzufügung von nur 10° s oder 10° w nicht ausreichte, um die Nachbilderscheinungen deutlich hervortreten zu lassen, und das Urteil noch schwankte, so dass dieselben erst bei Hinzufügung von 20° deutlich wurden. Es ist das auch nicht anders zu erwarten und nicht etwa ein Beweis, dass der mögliche Fehler der Methode 20° betragen kann. Denn auch bei dieser Probe muss das Vorhandensein der Schwellen in Rechnung gezogen werden. Wie ebenfalls deutlich erkennbar ist, ist die Genauigkeit bei dunkeln Farben (wie das gewählte Purpur) eine größere, als bei hellen Farben. Die Mühe, eine dunkle Farbe zu bestimmen, ist auch erheblich geringer, das Urteil sicherer, die Grenzen enger. Wie es mit den Unterschiedsschwellen steht, ist aber aus den Versuchen nicht zu ersehen.

Es dürfte das Mitgeteilte ausreichen, um die Art der Methode, ihre Ausführbarkeit und Genauigkeit dem Leser in

das rechte Licht zu setzen. Ich füge nun, ehe ich die Bedeutung der Methode, den Sinn und Wert dessen, was durch sie gefunden werden kann, einer eingehenden Erörterung unterziehe, die Ergebnisse der Bestimmung der Helligkeit von 10 Farben hinzu, welche ich im Verein mit Herrn stud. Kretzmann (Kr.) ausgeführt habe. Die Farben sind der von Hillebrand [1]) erwähnten, von Hering zusammengestellten Kollektion entnommen, die ich von Herrn Universitätsmechaniker Rothe bezogen habe. Es waren 10 Farben, die ich mit 1. Rot, 2. Orange, 3. Gelb, 4. Gelbgrün I, 5. Gelbgrün II, 6. Grünblau, 7. Blaugrün, 8. Blau, 9. Violett, 10. Purpur bezeichnet habe. Mehr oder weniger spektralen Charakter besitzen davon nur Rot, Orange, Gelb und Blau. Das Grün liegt der blauen Seite nahe. Aus den später mitzuteilenden Zahlen (S. 146) scheint mir zu folgen, dass Hillebrands Blau mit meinem Blaugrün (7), Hillebrands Grün mit meinem Gelbgrün II (5) identisch ist.

Tab. V.

1. Rot. Beobachter: M.			
Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
20° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
30° w	»	»	»
40° w	»	»	»
50° w	schw. aufhellend	schw. aufhellend	»
60° w	zweifelhaft	zweifelhaft	schw. aufhellend
70° w	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
80° w	gleich	gleich	gleich
90° w	schw. verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
360° Rot = 75° w + 285° s			

1) Hillebrand, Über die spezifische Helligkeit der Farben. Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. XCVIII, Nat. math. Cl., 1889, S. 29.

2. Orange. Beobachter: M.			
Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
70° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
120° w	»	»	»
130° w	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
140° w	gleich	gleich	gleich
150° w	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
160° w	zweifelhaft	aufhellend	zweifelhaft
170° w	verdunkelnd	»	verdunkelnd
360° Orange = 140° w + 220° s			

3. Gelb. Beobachter: M.			
180° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
190° w	»	»	»
200° w	schw.	»	»
210° w	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
220° w	mehr gleich	mehr gleich	mehr gleich
230° w	schw. verdunkelnd	schw. aufhellend	verdunkelnd
360° Gelb = 215° w + 145° s			

4. Gelbgrün I. Beobachter: Kr.			
160° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
70° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
80° w	»	»	»
90° w	schw. aufhellend	»	»
100° w	zweifelhaft	zweifelhaft	schw. aufhellend
110° w	»	»	»
120° w	gleich	gleich	gleich
130° w	gleich?	gleich?	zweifelhaft
140° w	schw. verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
360° Gelbgrün = 125° w + 235° s			

Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
5. Gelbgrün II. Beobachter: Kr.			
80° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
90° w	schw. aufhellend	»	»
100° w	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
110° w	gleich	gleich	gleich
120° w	schw. verdunkelnd	schw. aufhellend	zweifelhaft
130° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
360° Gelbgrün II = 105° w + 255° s			
6. Grün. Beobachter: M.			
70° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
80° w	»	»	»
90° w	»	»	»
100° w	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
110° w	gleich	gleich	gleich
120° w	verdunkelnd?	aufhellend?	verdunkelnd?
130° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
360° Grün = 110° w + 250° s			
7. Blaugrün. Beobachter: Kr.			
20° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
30° w	zweifelhaft	zweifelhaft	»
40° w	gleich	gleich	gleich
50° w	zweifelhaft	zweifelhaft	zweifelhaft
60° w	schw. verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
70° w	deutl. »	»	»
360° Blaugrün = 40° w + 325° s			

8. Blau. Beobachter: Kr.

Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
10° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
20° w	schw. verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
30° w	deutl. »	»	»
15° w	gleich	gleich	gleich

360° Blau = 15° w + 345° s

9. Violett. Beobachter: M.

Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
10° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
20° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd
30° w	stark verdunkelnd	»	»
15° w	gleich	gleich	gleich

360° Violett = 15° w + 345° s

10. Purpur. Beobachter: Kr.

Sekt.	Nachbild am fixierten Ort	Nachbild auf der Farbe	Nachbild vom Ort auf der Farbe
20° w	aufhellend	verdunkelnd	aufhellend
30° w	»	»	»
40° w	zweifelhaft	zweifelhaft	aufhellend
50° w	gleich	gleich	gleich
60° w	zweifelhaft	zweifelhaft	»
70° w	verdunkelnd	aufhellend	verdunkelnd

360° Purpur = 50° w + 310° s

Es folgt eine Übersicht über die gefundene Helligkeit sämtlicher zehn Farben in der Ordnung des Spektrums. Den Zahlen der zweiten Kolumne liegt wieder das Verhältnis 1:40 zu Grunde.

Tab. VI.

1. Rot.	75° w + 285° s	8,65
2. Orange	140° w + 220° s	15,80
3. Gelb	215° w + 145° s	24,05
4. Gelbgrün I. . . .	125° w + 235° s	14,15
5. Gelbgrün II . . .	105° w + 255° s	11,95
6. Grün	110° w + 250° s	12,50
7. Blaugrün	40° w + 320° s	4,80
8. Blau	15° w + 345° s	2,05
9. Violett	15° w + 345° s	2,05
10. Purpur	50° w + 310° s	5,90

Da das verwandte schwarze Papier keineswegs ganz schwarz ist, sondern einen Bruchteil Licht reflektiert, sind die Zahlen, welche die Helligkeiten ausdrücken, sämtlich etwas zu klein. Ich habe von einer Korrektur Abstand genommen, da für unsere Zwecke der Fehler nicht in Betracht kommt, auch die bisher einzig praktikable Methode zur Bestimmung des Weißwertes des schwarzen Papiers durch Vergleichung mit dem Schwarz einer möglichst lichtleeren Röhre meiner Erfahrung nach sehr ungenau ist, und bei kleinen Abweichungen der Einstellung zu Differenzen führt, die noch größer sind als der bei Vernachlässigung der Helligkeit des Schwarz entstandene Fehler.

Die gefundenen und mitgeteilten Zahlen werden in der nächstfolgenden Untersuchung benutzt werden, welche die Aufgabe hat, die Bedeutung der neuen Methode zur Bestimmung der Helligkeit der Farben genauer zu erörtern.

4.

Einiges über die Helligkeit komplementärer Gemische

von

Friedrich Kretzmann.

1.

Bei Gelegenheit von Beobachtungen, die über komplementäre Farbenmischungen im hiesigen psychologischen Institute gemacht wurden, stellte sich heraus, dass ein aus Komplementärfarben gemischtes Grau wieder schwach farbig erscheinen konnte, wenn der Hintergrund sich verdunkelte oder heller wurde. Es wurde mir infolge dieser Beobachtung von Herrn Prof. Martius die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, ob diese Erscheinung, die vermutlich durch den Kontrast bedingt war, sich bei genauer Prüfung als auf einem regelmäßigen, gesetzlichen Verhältnis von Hintergrund und Farbenpaaren beruhend herausstellte.

Es wurden zu diesem Zwecke Scheiben der folgenden Art angefertigt. Eine weiße Kartonscheibe von mäßiger Stärke und mit einem Durchmesser von 12 cm war in ihrem Centrum mit einer farbigen, kleineren Scheibe von nur 8 cm im Durchmesser beklebt, sodass also der ringsum überstehende weiße Teil der Fläche um das mittlere farbige Feld einen Rand von 2 cm Breite bildete. In entsprechender Weise wurde eine schwarz beklebte Cartonscheibe mit derselben farbigen

Scheibe überzogen, unter denselben Größenverhältnissen, sodass also hier ein schwarzer Rand um das farbige Centrum überstand. Die Farben waren Purpur, Gelbgrün, Orange, Blaugrün, Gelb und Blau, sämtlich einer vom Mechaniker Jung (Heidelberg) bezogenen Kollektion entnommen. Diese farbigen Pigmente waren, wie folgt, komplementär: Purpur mit Gelbgrün, Orange mit Blaugrün, Gelb mit Blau. Je zwei komplementäre Farbenscheiben mit gleichem Rand, wurden nach Maxwellscher Manier ineinandergeschoben. Es konnte dadurch das Sektorenverhältnis der beiden Farben im Centrum beliebig variiert werden, während der sie umgebende Rand völlig konstant, entweder weiß oder schwarz, blieb.

Zur Bewegung der Scheiben wurde der Marbesche Rotationsapparat benutzt, mit seinen eine exakte Gradablesung ermöglichenden Verbesserungen [1]). Der Antrieb des Apparates erfolgte durch einen kleinen Wassermotor.

Die Versuche wurden sämtlich in der Dunkelkammer angestellt. Die Beleuchtung der rotierenden Scheiben geschah durch einen Auer-Brenner, der in einem außen geschwärzten Blechgehäuse stand und durch eine kreisförmige Öffnung desselben von 5 cm sein Licht auf die in 1 m Abstand befindliche Scheibe warf.

Bei Ausführung der Versuche saß der Beobachter in 1,60 m Entfernung von der Scheibe. Zunächst wurde das Sektorenverhältnis des farbigen Centrums so gewählt, dass bei der Rotation die Scheibe rein einfarbig erschien. Dann wurde ganz allmählich von der anderen Farbe immer mehr hinzugefügt, bis der Augenblick erreicht war, in welchem die anfangs dominierende Farbe verschwand. Ich nenne ihn hier kurz Moment des Komplementarismus. Das jetzt eingestellte

---

1) Vergl. »Centralblatt für Physiologie« vom 25. März 1895, Heft 26.

Sektorenverhältnis wurde abgelesen und der Wert notiert. Darauf wurde von der anderen Farbe ausgegangen und nun von der komplementären Farbe soviel zugemischt, ganz wie vorher, bis der Moment des Komplementarismus wieder erreicht war. Dies Verfahren wurde viermal wiederholt, so dass sich zwei Zahlenreihen von je vier Werten ergaben.

Der Beobachter durfte die hell beleuchtete Scheibe nur kurze Zeit betrachten. Sobald er geurteilt hatte, ob sie noch farbig sei, ließ er die Augen, um sie zu erholen, frei in dem dunklen Raume umherschweifen oder schloss sie auch. Der Assistent setzte einige wenige Grade der andern Farbe zu, rief: »Jetzt!«, worauf der Beobachter nach kurzem Hinsehen urteilte und gleich wieder wegsah. Es wurde so vorsichtig vorgegangen, um das Auftreten von Nachbildern möglichst zu vermeiden. War doch ein Nachbild entstanden, so wurde jedesmal die Untersuchung solange ganz eingestellt, bis die Spur desselben gewichen war.

Aus jeder der beiden gefundenen Zahlenreihen wurde das arithmetische Mittel gezogen. Die beiden Mittelzahlen wichen regelmäßig von einander ab, da sich auch hier die Grenze stets nach der Seite hin verschiebt, von welcher man ausgeht. Die Differenz beider Mittelzahlen nenne ich kurz die mittlere Distanz.

Die ersten Untersuchungen gaben zu der Vermutung Anlass, dass die mittleren Distanzen durch die verschieden hellen Ränder verschieden beeinflusst würden. Einige Beobachtungen ergaben eine bedeutend größere Distanz bei schwarzem als bei weißem Rande. Um auch noch einige andere Helligkeiten als Ränder zu benutzen, wurde dafür zuerst dasjenige Grau gewählt, welches dem durch den Moment des Komplementarismus gegebenen Grau gleich war. Zwischen diesen Wert und Weiß auf der einen, Schwarz auf der andern Seite wurde

dann noch je ein mittleres Grau eingeschoben; so erhielt man einschließlich der Grenzen Weiß und Schwarz im Ganzen fünf verschieden helle Ränder. Die Mittelscheibe war natürlich bei den drei neuen Rändern genau wie bei den zwei alten.

Bei diesen drei neuen Rändern wurde ganz so beobachtet wie vorher. Als Beobachter fungierten außer mir (K.) die Herren Prof. G. Martius (G. M.) und Dr. K. Marbe (Mb.).

Es folgen die Ergebnisse. Zuerst sind in den drei folgenden Tabellen die Werte der mittleren Distanzen wiedergegeben.

Tab. I.

Purpur-Gelbgrün.

Rand	G.M.	Mb.	K.
Weiß	34°	41°	4°
Mittleres helles Grau.	9°	8°	9°
Das dem komplementären Gemisch gleiche Grau	8°	3°	8°
Mittleres dunkles Grau	18°	17°	17°
Schwarz	41°	42°	8°

Tab. II.

Orange-Blaugrün.

Rand	G.M.	Mb.	K.
Weiß	16°	30°	9°
Mittleres helleres Grau	15°	21°	1°
Das dem komplementären Gemisch gleiche Grau	17°	13°	16°
Mittleres dunkles Grau	24°	35°	17°
Schwarz	31°	28°	8°

Tab. III.

Gelb-Blau.

Rand	G.M.	Mb.	K.
Weiß	9°	30°	12°
Mittleres helles Grau.	8°	16°	11°
Das dem komplementären Gemisch gleiche Grau	21°	15°	10°
Mittleres dunkles Grau	16°	52°	20°
Schwarz	38°	33°	13°

Zweitens teile ich in den drei nächsten Tabellen die bei den verschiedenen Rändern gefundenen Gradverhältnisse der komplementären Papiere im Mittelwerte mit. Die Helligkeit der Ränder ist unter Zugrundelegung des Verhältnisses 1 : 40 für Schwarz und Weiß berechnet. Die Gradzahlen beziehen sich in Tab. IV auf Gelbgrün (gg), in Tab. V auf Orange (or) und in Tab. VI auf Gelb (g).

Tab. IV.

Purpur-Gelbgrün.

Intensität des Randes	G. M.	Mb.	K.
1,00	181° gg	163° gg	162° gg
6,45	176° gg	175° gg	183° gg
11,29	167° gg	156° gg	183° gg
18,00	167° gg	161° gg	178° gg
40,00	179° gg	159° gg	185° gg

Tab. V.

Orange-Blaugrün.

Intensität des Randes	G. M.	Mb.	K.
1,00	116° or	113° or	104° or
7,83	113° or	130° or	107° or
14,65	105° or	108° or	106° or
27,22	122° or	119° or	121° or
40,00	112° or	128° or	110° or

Tab. VI.

Gelb-Blau.

Intensität des Randes	G. M.	Mb.	K.
1,00	124° g	145° g	101° g
7,39	170° g	145° g	143° g
13,89	135° g	176° g	147° g
26,56	96° g	170° g	161° g
40,00	143° g	165° g	116° g

Wie aus den Tabellen erhellt, fallen die Werte so durcheinander, dass von einem sich geltend machenden Gesetze nicht die Rede sein kann. Es schien im Laufe der Beobachtungen zuerst so, als ob die Distanz dann am geringsten sei, wenn Rand und Centrum der Scheibe von gleicher Helligkeit sind, wenn also das dem komplementären Gemisch gleiche Grau den Rand bildet. Die Scheibe erscheint dann fast völlig homogen. Es liegen aber ebensoviele Belege gegen, wie für diesen Schluss vor, wie die Zahlen ergeben.

Noch sei bemerkt, dass selbstredend die zwischen Schwarz und Weiß eingeschobenen Ränder nach den individuellen Be-

stimmungen der Beobachter gewählt und also naturgemäß verschieden waren.

Das reiche Material von Zahlen wurde nach der verschiedensten Richtung hin geprüft, aber in keinem Punkte hat sich eine Gesetzmäßigkeit des Einflusses der kontrastierenden Ränder herausgestellt.

Es ist also zu schließen, dass die Schwankungen in den Distanzen lediglich auf individuelle Beschaffenheiten der beobachtenden Person, oder auf unkontrollierbare variable Versuchsumstände zurückzuführen sind, dass aber ein kontrastierender Rand, wie er auch sei, auf das Bestimmen des komplementären Verhältnisses keinen gesetzmäßigen Einfluss hat, oder doch ein solcher durch unsere Mittel sich nicht hat erweisen lassen.

2.

In den vorigen Versuchen waren, wie berichtet, drei Farbenpaare benutzt, die sich als gut komplementär erwiesen hatten, soweit dies überhaupt bei Pigmenten möglich ist. Dabei hatte sich offenbar ein brauchbarer Mittelwert für die nötige Gradanzahl der für den Komplementarismus verwendeten farbigen Komponenten ergeben. Herr Prof. Martius stellte mir die Aufgabe, diese Werte zu einer weiteren Untersuchung nutzbar zu machen und zu ermitteln, wie sich die Helligkeit des komplementären Grau zu den Helligkeiten der farbigen Komponenten verhalte, wenn man diese mittelst der Martiusschen Nachbildmethode bestimmt. Zu dem Ende hatte man nur nötig, das komplementäre Grau mit einem bekannten, aus Weiß und Schwarz hergestellten Grau zu vergleichen, die Helligkeiten der einzelnen farbigen Komponenten mit Hilfe desselben Schwarz und Weiß zu bestimmen, sodann aus den oben gefundenen Anteilswerten derselben an dem komplementären Gemisch die

Helligkeit zu berechnen und die beiden Werte nebeneinander zu stellen.

Zuerst wurde also nach der Martiusschen Nachbildmethode[1]) die Helligkeit jeder der sechs Farben, Purpur, Gelbgrün, Orange, Blaugrün, Gelb und Blau bestimmt.

Es ergaben sich für die einzelnen Beobachter die in Tab. VII angegebenen Werte, welche die zu dem gefundenen Grau erforderlichen Grade Weiß enthalten.

Tab. VII.

	G. M.	Mb.	K.
Purpur	30° w	25° w	40° w
Gelbgrün	140° w	140° w	140° w
Orange	90° w	115° w	90° w
Blaugrün	135° w	137° w	120° w
Gelb	230° w	250° w	210° w
Blau	25° w	30° w	20° w

Hieraus folgen wieder, unter Zugrundelegung des Verhältnisses 1 : 40 für Schwarz und Weiß, die in folgender Tab. VIII zusammengestellten Helligkeitswerte der benutzten Farben.

Tab. VIII.

	G. M.	Mb.	K.
Purpur	4,25	3,71	5,33
Gelbgrün	16,16	16,16	16,16
Orange	10,75	13,45	10,75
Blaugrün	15,63	15,84	14,00
Gelb	25,92	28,08	23,75
Blau	3,71	4,25	3,16

1) Vergl. oben S. 95 ff.

Um sodann die Helligkeit des komplementären Verhältnisses durch direkte Beobachtung zu finden, wurde folgende Scheibenanordnung getroffen. Eine kleine Scheibe von 7 cm Durchmesser war mit den betreffenden beiden komplementären Pigmenten in dem aus den früheren Versuchen gefundenen Verhältnisse, den Mittelwerten sämtlicher Zahlen der Tab. IV—VI, beklebt. Diese kleine Scheibe wurde an dem Marbeschen Rotationsapparate vor einem beweglichen Scheibenpaare angebracht. Das letztere bestand aus einer weißen und einer schwarzen, nach Maxwell behandelten Scheibe und maß 12 cm im Durchmesser, sodass es bei der Rotation einen grauen Rand um die kleinere Scheibe bildete. Das Grau des Randes konnte in bekannter Weise beliebig variiert werden. Bei der Beobachtung wurden wieder die oben erläuterten Vorsichtsmaßregeln befolgt. Der graue Rand wurde durch Zusatz von Weiß oder Schwarz solange variiert, bis es dem komplementären Grau im Centrum der Scheibe gleich erschien. Aus je 8 Beobachtungen wurde das Mittel genommen. So ergaben sich folgende Werte für die direkt beobachteten Helligkeiten der komplementären Gemische in Graden Weiß:

Tab. IX.

Komplementäres Gemisch	G. M.	Mb.	K.
Purpur-Gelbgrün . . .	85° w	100° w	108° w
Orange-Blaugrün . . .	137° w	126° w	141° w
Gelb-Blau	123° w	119° w	106° w

Aus diesen Werten folgen die direkt beobachteten Helligkeiten der komplementären Gemische, wie sie in Tab. X

neben den aus der Nachbildmethode berechneten Helligkeiten derselben stehen.

Diese letzteren fand ich, indem ich in die Formel $\frac{\alpha^0 P_1 + \beta^0 P_2}{360}$ für α und β die aus den Versuchen gefundenen Gradanzahlen, mit welchen je zwei komplementäre Papiere im Mittel an dem Komplementarismus beteiligt waren, und für P_1 und P_2, die zu einander gehörigen Pigmente, ihre aus der Nachbildmethode folgenden Helligkeitswerte (nach Tab. VIII) einsetzte.

So ergaben sich nachstehende Resultate:

Tab. X.

	G. M.		Mb.		K.	
Purpur-Gelbgrün						
Beobachtet	10,21	± 0	11,83	+ 2,59	12,70	+ 2,14
Berechnet	10,21		9,24		10,56	
Orange-Blaugrün						
Beobachtet	15,84	+ 1,76	14,65	— 0,83	16,28	+ 3,25
Berechnet	14,08		15,48		13,03	
Gelb-Blau						
Beobachtet	14,32	+ 2,52	13,89	+ 0,57	12,48	+ 3,14
Berechnet	11,80		13,32		9,34	

Wie aus den Zahlen zu erkennen ist, kommen die berechneten Werte den beobachteten genügend nahe, so dass also der Satz gelten kann:

Die Helligkeit eines komplementären Gemisches ist gleich der Helligkeit seiner farbigen Komponenten,

in dem Verhältnis gerechnet, wie diese an dem Gemisch beteiligt sind.

Das Ergebnis widerspricht scheinbar den Angaben von Ebbinghaus[1]), der in seiner Abhandlung über die »Theorie des Farbensehens« den Satz konstatieren zu können glaubt: »Die Helligkeit eines aus Komplementärfarben gemischten Grau ist durch die weißen Valenzen seiner Komponenten (d. h. durch die Helligkeiten, welche die Komponenten isoliert, bei Ausschluss ihrer chromatischen Wirkung, haben) nicht vollkommen bestimmt.«

Ebbinghaus schloss diesen Satz aus dem Umstande, dass, wenn er zweierlei graue Felder mischte aus verschiedenen Farbenpaaren und die Felder gleich einstellte, dann diese Gleichheit nicht bestehen blieb bei starker Herabsetzung oder Erhöhung der objektiven Lichtstärke.

Dieser Versuch kann als streng beweisend nicht angesehen werden; wie er angestellt ist, zeigt er lediglich den Einfluss des Purkinjeschen Phänomens oder der spezifischen Helligkeit auf das Komplementärgrau. So fasst es auch Ebbinghaus selbst auf, wenn er kurz darauf die Meinung vertritt: »Die Helligkeiten (und nicht, wie Hering will, die weißen Valenzen) von Komplementärfarben, die Helligkeiten bei eben der Lichtintensität, bei der die Mischung geschieht, sind das, was maßgebend ist für die Helligkeit des aus ihnen gemischten Grau; sie setzen sich einfach zusammen zu der Helligkeit der Mischung.« Er führt dann die bestätigenden Versuche von Rood (Americ. Journal of sc. (3) Bd. 15, S. 81, 1878) an.

Aber auch Hillebrand hatte bereits vor Ebbinghaus einen Versuch angestellt, dessen Ergebnis genau mit Ebbinghaus' Meinung zusammentrifft. Er berichtet[2]): »Ist Herings

1) Zeitschrift für Psych. u. Phys. d. S., Bd. V, 1893, S. 174.

2) Hillebrand, a. a. O. Seite 47 und 48.

Ansicht richtig, so mag es durch den Effekt offenbar gleichgültig sein, ob zwei komplementäre Farben gemischt werden, oder ob man an Stelle jeder der beiden Farben ein Grau von gleicher Weißvalenz treten lässt. Denn wenn zwei Lichter in bezug auf ihre farbigen Valenzen sich in ihren Wirkungen auf die Empfindung aufheben, so kann es für die letztere nichts ändern, wenn man die farbigen Valenzen gleich von vornherein ausschließt.

Diese notwendige Konsequenz aus der Theorie der Gegenfarben wird durch das Experiment in unzweifelhafter Weise bestätigt. Ich habe zu diesem Behufe vermittelst der schon mehrfach erwähnten Helligkeitsskala für jede der verwendeten Farben dasjenige Grau ermittelt, welches mit der betreffenden Farbe gleiche weiße Valenz hatte. Zugleich hatte ich für jede Stufe der Skala eine ihr vollkommen gleiche graue Scheibe ausschlagen lassen. (Dieselben waren kleiner als die farbigen Scheiben, wie ich sie sonst zu Versuchen am Kreisel verwendete.) Zunächst wurde nun aus zwei oder mehr Farben ein Grau gemischt, sodann wurden auf die farbigen Scheiben ebensoviel kleinere graue aufgesetzt, und zwar in der Weise, dass auf jeden farbigen Sektor ein gleich großer grauer Sektor zu liegen kam, der mit dem entsprechenden farbigen in bezug auf die Weißwirkung äquivalent war und ihn teilweise deckte. Beide Mischungen waren einander vollkommen gleich.«

Der einzige Unterschied zwischen dem Verfahren Hillebrands und dem oben geschilderten besteht in der verschiedenartigen Bestimmung der Helligkeit der Farben. Sie fand statt bei Hillebrand durch direkte Vergleichung, hier jedoch durch die Martiussche Nachbildmethode.

5.

Über den Begriff der spezifischen Helligkeit der Farbenempfindung

von

Götz Martius.

Mit 2 Figuren im Text.

Das in dem zweiten Teile der Arbeit des Herrn Kretzmann mitgeteilte Ergebnis, nach welchem die Helligkeit mehrerer komplementärer Gemische sich als gleich erwies der nach der Nachbildmethode bestimmten Helligkeit ihrer Komponenten, in dem ihnen zukommenden Verhältnisanteil an dem Gemisch gerechnet, ist gewiss an sich bemerkenswert. Für die gefundenen Zahlen ist dabei in Betracht zu ziehen, dass die Feststellung der Anteilswerte der farbigen Komponenten eines komplementären Gemisches erheblichen Schwierigkeiten unterliegt, bei Pigmenten noch mehr, als etwa beim Helmholtz-Königschen Farbenmischapparat. Erst überwiegt die eine Farbe, es kommt darauf ein längeres Zwischenstadium, bei welchem es unsicher ist, ob die gesehene Mischung noch dieselbe Farbe hat, wie vorher, ob die Komplementärfarbe schon beteiligt ist, oder ob ein wirkliches Grau vorliegt, bis schließlich die zweite Farbe überwiegt. Das Zwischenstadium hat eine beträchtliche Ausdehnung. Auch von der Schnelligkeit der Drehung hängt die Reinheit des komplementären Grau ab. Kurz es ist die Einstellung eine der Willkür und

Stimmung des Beobachters nicht ganz entzogene; offenbar lag hierin auch der Hauptgrund, dass die Art, wie der Kontrast auf den Komplementarismus zweier Farben wirkt, trotz großen und mühsam gewonnenen Materials durch die angewandten Mittel sich nicht hat gesetzmäßig feststellen lassen wollen. Es ist daher auch nicht zu verwundern, dass bei der Nebeneinanderstellung der gefundenen Werte für die Helligkeit des komplementären Gemisches und der aus den Helligkeitsbestimmungen der einzelnen Farben berechneten Werte sich zum Teil erheblichere Differenzen der Werte vorfinden. Dieselben haben aber verschiedene Vorzeichen, ein Beweis, dass es sich um variabele, aus den Versuchsschwierigkeiten entstandene Fehler handelt. Außerdem findet sich für jede der benutzten Farben ein Wert, dessen Differenz von dem berechneten Werte (0; 0,83; 0,57) so gering ist, dass man von einer wirklichen Übereinstimmung sprechen kann.

Immerhin mag das gebotene Material einem sehr kritischen Leser nicht hinreichend erscheinen, den aufgestellten wichtigen Satz zu begründen. Ich hoffe, dass die folgenden weiteren Erörterungen über die Bedeutung der Nachbildmethode und das Wesen der durch sie bestimmbaren »Helligkeit« einerseits solcher Kritik weniger Raum geben werden, andrerseits auch rückwirkend die Folge haben werden, das Vertrauen in die Richtigkeit des dort aufgestellten Satzes bedeutend zu steigern.

Als Material für die folgenden Erörterungen haben die nach der Nachbildmethode bestimmten, oben (S. 119) bereits angeführten zehn Werte der Helligkeiten der Farben der Heringschen Kollektion gedient.

Zuerst wollen wir diese Werte mit früheren Bestimmungen der Helligkeit der Farben vergleichen. Solche sind u. a. ausgeführt von Frauenhofer und Vierordt. Der erstere verglich die Helligkeit der Spektralfarben mit der Helligkeit

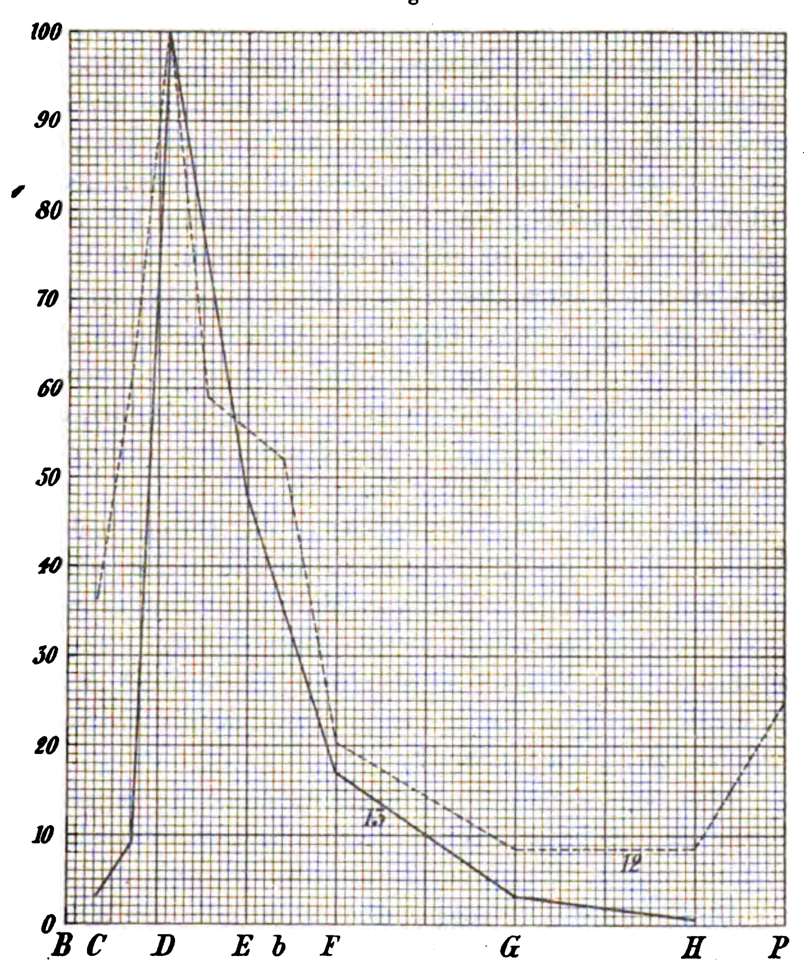
eines von einem kleinen Spiegel reflektierten Lichtes. Der letztere bestimmte die Unterschiedsschwelle der Helligkeit der Spektralfarben durch Beimischung weißen Lichtes und schloss von der Unterschiedsschwelle auf die Helligkeit selbst zurück; denn dieselbe ist um so größer, je größer auch die Schwelle ist. Die Zahlen gebe ich nach Wundt, Phys. Psych. IV. Aufl., S. 499. Es ist dabei die Helligkeit der D-Linie gleich 1000 angenommen, und die Helligkeit der übrigen Farben im Verhältnis zu der des Gelb bestimmt. Ich setze die von mir gefundenen Werte gleich neben die von Frauenhofer und Vierordt, indem ich den farbigen Pigmenten die am geeignetsten erscheinende Stelle im Spektrum zuweise. Es ergiebt sich dann folgende Tabelle.

Tab. I.

	Frauenhofer	Vierordt	Nachbildmethode
Rot (B.) . . .	32	22	363
Orange (C.) . .	94	128	662
Rötlich-Gelb (D.)	646	780	
Gelb (D-E.) . .	1000	1000	1000
Grüngelb . . .			594. 502
Grün (E.) . . .	480	370	525
Blaugrün (F.) .	170	128	202
Blau (G.) . . .	31	8	86
Violett (H.) . .	5,6	0,7	86
Purpur			248

Dass hier eine überraschend gute Übereinstimmung vorliegt, wenigstens was die Verhältnisse der Helligkeiten zu einander betrifft, zeigt sich viel deutlicher, wenn wir die Helligkeiten nach Frauenhofer und nach der Nachbildmethode in Kurven darstellen (Fig. 1).

Fig. 1.



Der Verlauf der beiden Kurven ist ein ganz analoger in beiden Fällen; der einzige größere Unterschied besteht in dem höhern Einsetzen der Kurve der Nachbildmethode. Die Reihe der Farben bis zum Gelb ist nach dieser um ein gut Teil heller gefunden, jedoch mit Beibehaltung des Verhältnisses

der Helligkeiten zu einander. Worin der Grund dieser Verschiedenheit liegt, ob in der Natur der benutzten farbigen Pigmente oder in der größeren Genauigkeit der Nachbildmethode, lässt sich sicher erst entscheiden, wenn die letztere auch auf Spektralfarben angewandt und dadurch eine genauere Parallelisierung der Ergebnisse ermöglicht ist. Auffallend ist immerhin, dass die Übereinstimmung bei den satten Farben kleiner ist als bei den weißlichen. Die letzteren lassen sich durch direkte Vergleichung besser bestimmen, als die stark gesättigten. Denn diese machen zugleich leicht einen dunkeln Eindruck, ohne es wirklich zu sein. So wurde Orange, allerdings von einem noch ungeübten Beobachter, zu 45° w geschätzt, während es thatsächlich und nach der Nachbildmethode gleich 140° w ist.

Jedenfalls ist die Übereinstimmung der obigen beiden Kurven eine so große, dass niemand widersprechen wird, wenn ich annehme, dass das, was hier durch die verschiedenen Methoden bestimmt ist, dieselbe Eigenschaft der Farbenempfindung ist. Welches ist aber diese Eigenschaft? Was ist die Helligkeit der Farben oder das, was uns als ihre verschiedene Helligkeit erscheint?

Über diese Frage ist neuerdings durch die Heringsche Schule eine bestimmte Antwort gegeben und wahrscheinlich gemacht worden. Gehen wir hierauf etwas näher ein.

Die Helligkeit der Farbenempfindung ist nicht ihre Weißvalenz allein, lautet die These Herings und seiner Schüler. Welches sind die Gründe dieser Ansicht?

Wir müssen den Gedankengang Hillebrands, den er zur Begründung des schon von Hering früher aufgestellten Begriffes der spezifischen Helligkeit der Farben in der oben (S. 115) angeführten Abhandlung einschlägt, kurz wiederholen. Hering hatte bemerkt (vergl. Pflügers Archiv, Bd. 49 S. 569;

zur Lehre vom Lichtsinn § 40), dass wenn man ein Grau, ohne das Verhältnis von Schwarz und Weiß zu ändern, in das Farbige abwandelt, also mehr und mehr Farbe zusetzt, die Helligkeit des Gemisches sich ändert. Diese Änderung ist von der Farbe, um die es sich handelt, nicht unabhängig. Fügt man einem gewissen mittleren Grau das eine Mal Gelb hinzu, das andere Mal Blau, so erscheint das so entstehende Graugelb heller, das Graublau dunkler als das anfängliche farblose Grau und beides um so mehr, je mehr das Gelb beziehungsweise Blau aus dem Grau hervortritt.

Analog verhält es sich mit Rot und Grün, nur ist hier der erhellende oder verdunkelnde Einfluss der Farbe nicht so groß wie bei Gelb und Blau. Diesen Thatsachen soll der Begriff der spezifischen Helligkeit der Farben Ausdruck geben. So Hering, indem er zunächst bei der Formulierung der Frage von einer bestimmten Theorie über die Natur der Helligkeit der Farben absieht. Jene Erscheinung, dass bei Zumischung von Gelb ein bestimmtes Grau sich aufhellt, bei Zumischung von Blau dagegen verdunkelt, könnte durch eine Wirkung des Gelb erklärt werden, die genau der des weißen Lichtes analog wäre, durch eine spezifische Wirkung also auf die Schwarzweißsubstanz der Heringschen Theorie. Das ist aber, wie sich gleich zeigt, nicht der Sinn des Begriffes der spezifischen Helligkeit der Farben.

Hillebrand geht in seiner Erörterung von der Unterscheidung des farblosen und des farbigen Bestandteils einer Farbenempfindung aus. Eine farbige Gesamtempfindung heißt heller oder dunkler, je nachdem der farblose Bestandteil derselben heller oder dunkler ist. Er fragt dann, ob den verschiedenen Farbentönen, ganz abgesehen von ihrem farblosen Bestandteil, eine verschiedene Helligkeit zukommt und benennt diese »der Farbe im engsten Sinne zukommende

Helligkeit« mit dem Namen der spezifischen Helligkeit der Farbe. Haben die Farben spezifische Helligkeit, so heißt das soviel, als dass die verschiedenen Farbentöne, wenn sie absolut frei von jedem farblosen Anteil (Weiß, Grau, Schwarz) vorkommen könnten, nicht gleich hell erscheinen würden, sondern dass etwa das Gelb heller erscheine als das Blau (S. 4). Um also die spezifische Helligkeit der Farben zu bestimmen, kommt es nach dieser Anschauung vor allem darauf an, den farblosen Anteil einer Farbenempfindung von dem farbigen zu trennen, und die Helligkeit des farblosen Anteils von der Gesamthelligkeit so zu sagen abzuziehen. Bleibt bei den verschiedenen Farben ein verschiedener Rest, so wäre dieser gleich der spezifischen Helligkeit der Farben.

Die oben erwähnten Helligkeitsmessungen der Farbenempfindung, wie sie von Frauenhofer und Vierordt und anderen ausgeführt sind, kommen für Hillebrand daher zunächst nicht in Betracht. Sie lassen nicht erkennen, wie weit das in der Empfindung enthaltene Weiß an dieser Helligkeit Anteil hat und inwieweit auch die spezifische Helligkeit der Farbe (S. 22).

Um zu seinem Ziele zu gelangen, musste also Hillebrand zuerst die weiße Valenz (d. h. eben den farblosen Bestandteil) der zu untersuchenden Farbenempfindung genau ermitteln. Er nahm nun an, wie dies neuerdings nicht blos durch Hering geschehen ist und durch die bekannten, schon oben (S. 95 ff.) erwähnten Thatsachen nahe genug liegt, dass eine solche Bestimmung der Weißvalenz in exakter Weise bei minimaler Beleuchtung in der Dunkelkammer durch direkte Vergleichung der farbigen Pigmente mit einem aus Schwarz und Weiß gemischten oder sonst bekannten Grau geschehen könne; mit andern Worten, dass das Grau, in welchem die Farbenpapiere bei minimaler Beleuchtung erscheinen, die Weißvalenz

oder den farblosen Bestandteil derselben rein darstellt. Auf der Richtigkeit dieser Annahme beruhen alle folgenden Schlüsse. Hillebrand sagt, dieser Annahme liegt folgende Überlegung zu Grunde: »Wenn wir unsere Augen durch längeren Aufenthalt im verdunkelten Raum »ausruhen« lassen, so steigert sich die Erregbarkeit der lichtempfindlichen Substanz für farbloses Licht ungleich stärker als die für farbiges«. Das heißt im Sinne der Heringschen Theorie, die Wirkung eines homogenen Lichtes auf die Schwarzweißsubstanz tritt bei geringerem Reiz schon ein, wenn die Wirkung desselben Lichtes auf die zwei die Farbenempfindung vermittelnden Substanzen noch aussteht, sie ist bei schwacher Beleuchtung allein vorhanden, kann daher unter dieser Bedingung gemessen und festgestellt werden. Es ist nicht zu leugnen, dass diese Annahme als die natürlichste erscheint und fast selbstverständlich ist, sobald man einmal gerade zur Erklärung der Farblosigkeit im Dunkeln die Unterscheidung des farblosen und farbigen Bestandteils, der Schwarzweißsubstanz und der farbigen Substanzen gemacht hat. In geeigneter Weise bestimmte nun Hillebrand durch die Dunkelmethode, so wollen wir sie kurz nennen, die Weißvalenz zunächst von vier farbigen Pigmenten. Er fand:

360° Rot	entsprechen	10° w
360° Blau	»	90° w
360° Grün	»	152° w
360° Gelb	»	190° w

Jetzt stellte er aus den vier so untersuchten Farben durch Hinzufügung von Weiß und Schwarz verschiedene Mischungen her, die so gewählt waren, dass wenn man für die farbigen Bestandteile den aus der Dunkelmethode gefundenen Helligkeitswert oder Weißvalenzwert in Rechnung zog, die

erzielten Mischungen zwar verschiedene Sättigungsgrade zeigten, aber doch die gleiche Weißvalenz oder Helligkeit hätten haben müssen.

Die gewählten Mischungen sind für Blau die folgenden:

1)	90°	Blau	+	127,5°	Weiß	+	125,5°	Schwarz
2)	120°	»	+	118°	»	+	122°	»
3)	280°	»	+	80°	»	+	0°	»

In der That sind die Helligkeiten dieser Gemische gleich. Setzt man etwa wieder, wie von uns schon oft geschehen, das Verhältnis von Schwarz und Weiß wie 1:40 fest, so ergiebt sich nach den Versuchen Hillebrands als Helligkeitswert des Blau die Zahl 10,30 und als Helligkeitswert jener drei Gemische die Zahl 16,9. »Trotz dieser Äquivalenz der Weißwirkung«, so fährt nun Hillebrand fort, »erscheinen die drei Gemische sehr verschieden in der Helligkeit und zwar ist das Gemisch um so dunkler, je mehr Blau es enthält, das dritte also dunkler als das zweite, dieses dunkler als das erste« (S. 31). Ein ähnliches Verhalten wie Blau zeigte Grün. »Stellte man hingegen analoge Versuche mit Gelb und Rot an, so verhalten sich die Mischungen in bezug auf ihre Helligkeit gerade umgekehrt; diejenige Mischung, welche mehr Gelb, beziehungsweise Rot enthält, erscheint heller« (S. 32). Hillebrand schließt: »Es scheint somit sicher, dass die Helligkeit eines Farbenphänomens nicht allein von der Qualität (Helligkeit) des farblosen Teiles der Empfindung und dem Sättigungsgrade abhängt, sondern dass die verschiedenen Farben (im engeren Sinne) verschiedene (spezifische) Helligkeit besitzen, da bei einer gewissen gleich starken Wirkung auf die Weißempfindung (d. h. bei gleicher weißer Valenz) — wir haben sie bei den vorhin beschriebenen Versuchen überall = 150 gesetzt — das

wachsende Hervortreten der einen Farbe erhellend, das der anderen verdunkelnd wirkt. Das erstere ist bei Rot und Gelb, das letztere bei Blau und Grün der Fall (S. 32).«

Schließlich hat Hillebrand das experimentelle Material für seine Behauptungen noch in dankenswerter Weise vermehrt. Er verglich in einem passend eingerichteten Dunkelkasten die Helligkeiten eines Spektrums von sehr schwacher Lichtstärke mit weißem Licht und fand auf solche Weise eine Weißvalenzkurve für sämtliche Spektralfarben. Um die Tageshelligkeiten derselben Farben zu bestimmen, verglich er die einzelnen Farben eines Spektrums in ähnlicher Weise wie Frauenhofer es schon gethan, direkt mit einer vom weißen Licht bestrahlten Fläche. Die beiden so gefundenen Kurven lassen sich leicht in einer Darstellung vereinigen.

Thut man dies, so geben sie ein volles und deutliches Bild der vorliegenden Verhältnisse. Wo die Ordinaten der einen Kurve größer sind als die der andern, sind die Helligkeiten ebenfalls größer. An der einen Seite des Spektrums sind also die Weißvalenzen (nach der Dunkelmethode bestimmt) größer als die Tageshelligkeiten der Farbenempfindungen, auf der anderen Seite ist es gerade umgekehrt. Dass die Farbenempfindungen eine spezifische Helligkeit besitzen, erscheint damit als erwiesen.

Ich glaube durch diese Darstellung hinlänglich deutlich gemacht zu haben, dass die ganze Deduktion und damit die Berechtigung des Begriffes der spezifischen Helligkeit der Farbenempfindung abhängt von der Frage, ob durch die Dunkelmethode wirklich die Weißvalenz der Farbenempfindung exakt bestimmt ist. Diese Frage liegt auf demselben Wege wie die, welche mir bei der Auffindung der Nachbildmethode zur Bestimmung der Helligkeit der Farbenempfindung aufstoßen musste, ob denn durch die Nachbildmethode

die Weißvalenz der Farbenempfindung gefunden wurde oder worin sonst die durch sie bestimmbare Helligkeit bestehe.

Die Weißvalenz und der farblose Bestandteil der Farbenempfindung ist dasselbe. Nun wird von vornherein zuzugeben sein, dass die Natur der Nachbildmethode einzig die Annahme nahe legt, dass sie den farblosen Bestandteil oder die Weißvalenz betrifft. Die Methode ist ja nichts anderes als eine Anwendung des Gesetzes des Helligkeitswertes der Nachbilder. Es wird beobachtet, ob ein auf farbigem Grunde liegendes Grau durch die Einwirkung der Helligkeit des Grundes verdunkelt oder aufgehellt wird und es wird dasjenige Grau gesucht, welches weder eine Verdunkelung oder Aufhellung erleidet, das ist aber nach dem Gesetze des Helligkeitswertes der Nachbilder der Fall, wenn der Grund genau die gleiche Helligkeit oder Weißvalenz besitzt. Es müssten also die Ergebnisse der Nachbildmethode mit den Ergebnissen der Dunkelmethode übereinstimmen. Tritt dies nicht ein, so giebt es nur zwei Möglichkeiten, entweder die Nachbildmethode ist nicht im Stande, die Weißvalenz zu bestimmen, oder — die Dunkelmethode nicht. Es heißt dann entscheiden, welche Methode das höhere Recht hat oder wie sonst die Schwierigkeit zu lösen ist. Es galt also zunächst, die benutzten zehn Farben bei minimaler Beleuchtung auf ihre Helligkeit zu untersuchen.

Die Vorkehrungen dazu waren in der zu solchen Untersuchungen vorzüglich geeigneten Dunkelkammereinrichtung des hiesigen Laboratoriums bereits vorhanden. Diese besteht aus zwei ineinandergehenden Zimmern, in die man durch eine auf einen schlecht erhellten Flur gehende Thür gelangt. Wenn die Verbindungsthür der beiden Dunkelzimmer geschlossen ist, ist der vom Flur abseits gelegene Raum völlig lichtleer. In diesem war der Apparat zum Drehen der Scheiben

aufgestellt; im ersten Zimmer stand vor einem in die Verbindungsthür eingelassenen Schieber die oben erwähnte bis auf einen cylindrischen Einsatz abgeblendete Glühlichtlampe. Der Drehapparat war so orientiert, dass er genau vor der mit einer Mattglasscheibe bedeckten Spaltöffnung zu stehen kam. Die Entfernung zwischen Spalt und Apparat betrug einige Meter. Als Scheiben wurden die oben geschilderten benutzt, die bereits bei der Bestimmung der Helligkeit der Farben durch die Nachbildmethode gedient hatten (vergl. S. 105). Sie zeigten in der Drehung, wie erinnerlich, bei Tageslicht einen farbigen Ring auf grauem variabelem Grunde, bei der zu benutzenden minimalen Beleuchtung also einen mehr oder weniger hellen grauen Ring auf hellerem oder dunklerem Grunde. Bei Verschiebung der Scheiben gegeneinander blieb der Ring konstant, der Grund dagegen (die Mitte und der Rand) änderte sich gleichmäßig.

Bei Ausführung der Versuche stand der Beobachter ein wenig seitlich nahe vor dem Apparat, der sich ungefähr in Augenhöhe befand. Die Entfernung zwischen Auge und Scheibe betrug ungefähr die Leseweite. Nimmt man die Entfernung zu groß, so werden die Beobachtungen ungenau. Die Lichtspalte wurde für jede Scheibe so eingestellt, dass die Farbenempfindung eben verschwunden war. Die Intensität der Lichtquelle war also den Spaltbreiten proportional verschieden. Dieser Umstand kommt weniger in Betracht, als man glauben sollte. Nach einigen dahin gehenden Versuchen waren die Ergebnisse für dieselbe Farbe bei verschiedenen Spaltbreiten nur wenig verschieden. Die Beobachtungen werden aber bei Abnahme der Helligkeit erschwert. Größere Änderungen treten erst ein, wenn die Farbe hervorzutreten beginnt. Auch Hillebrand beobachtete mit einer Helligkeit, welche dem Punkte des Verschwindens der Farbe gerade entsprach.

Die Versuche wurden nun so ausgeführt, dass bei einer gegebenen Farbe die Scheibe zuerst so eingestellt wurde, dass dem Beobachter der Ring deutlich dunkler oder heller schien als der Grund. Durch allmähliche Veränderung des Grundes wurde dann der Punkt gesucht, an dem die Scheibe gerade den Eindruck völliger Gleichheit machte. Sodann wurde von dem entgegengesetzten Verhältnis ausgegangen, (also wenn der Ring das erste Mal anfangs dunkler war, von einem Punkte, wo er deutlich heller war und umgekehrt) und wieder bis zur eben merklichen, völligen Gleichheit gegangen. Dies Verfahren wurde dann noch einmal wiederholt. So erhielt man 4 Werte, von denen je zwei gleichartige zu einem Mittelwert vereinigt wurden; die Differenz der beiden Mittelwerte entsprach dem Schwellenwert der Gleichheit. Zahlreichere Einstellungen zu machen erschien unnötig. Das Urteil ist ein so sicheres, die gewonnenen Zahlen sind so wenig von einander abweichend, dass größere Reihen von Einstellungen das Ergebnis nur ganz unbedeutend beeinflussen würden. Nur bei den hellsten Farben zeigen sich größere Verschiedenheiten. Wenn Hillebrand im Gegensatz dazu zuweilen schwankende Werte fand, so lag dies an der Vernachlässigung der Unterschiedsschwelle, die eine solche Größe besitzt, dass zur direkten Auffindung des richtigen Mittelwertes eine Unzahl von Einstellungen nicht ausgereicht haben würde. Es kann nicht oft genug betont werden, dass bei psychologischen Versuchen keineswegs stets große Zahlenreihen gewonnen werden müssen. Wird der Versuch richtig angestellt, d. h. so, dass das Urteil an klaren Empfindungsverhältnissen einen Anhalt hat, so ist eine sorgfältige Einstellung mehr wert als tausend bei einer Anordnung, wo dies nicht der Fall ist. Soll ich bei Vorhandensein einer sehr großen Schwelle, wie hier, zwei Helligkeiten gleich einstellen, so werden die Einstellungen innerhalb

der Schwelle herumirren oder infolge einer bestimmten, willkürlich gewählten Art der Einstellung etwa auf der einen Seite des wirklichen Mittels bleiben. Das dann durch zahllose Einzelversuche sich ergebende Mittel ist immer noch mit einem starken Fehler behaftet.

Stelle ich hingegen die Grenze der Gleichheit von zwei Seiten fest und liegen die Verhältnisse so, dass diese Grenze gut einstellbar ist, was bei unserem Falle in erster Linie durch die Scheibenart bewirkt wurde, so wird der aus den Grenzwerten sich ergebende Mittelwert sogleich der Wahrheit sehr nahe kommen.

Ich stelle in der folgenden Tabelle die Ergebnisse für dieselben zehn Farben, die oben nach der Nachbildmethode untersucht waren, zusammen. Die beiden ersten Reihen enthalten die für die einzelnen Farben gefundenen Grade Weiß, das eine Mal von Weiß aus, das andere Mal von Schwarz aus, unter *M* findet sich das Mittel der beiden vorhergehenden Werte, unter *D* endlich die Differenz derselben.

Tab. II.

F	Von Weiß	Von Schwarz	*M*	*D*
1. Rot	8,5° w	3° w	6	5,5
2. Orange	56,5° »	41,5° »	49	15,0
3. Gelb	205° »	160,5° »	183	34,5
4. Gelbgrün I . .	187,5° »	155° »	171	32,5
5. Gelbgrün II . .	158,15° »	132° »	145	26
6. Grünblau . . .	186,5° »	157° »	172	29
7. Blaugrün . . .	92,5° »	86° »	89	6,5
8. Blau	34,5° »	28,5° »	32	6
9. Violett	26° »	19° »	23	7
10. Purpur	8,25° »	7° »	8	1,25

Die unter *D* enthaltenen Werte sind zugleich ein Maß für die Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten bei der Dunkeladaptation. Zu einer genaueren Ermittelung derselben würden Messungen bei verschiedenen Helligkeiten nötig sein. Ich hielt es aber doch für angezeigt, die relative Unterschiedsempfindlichkeit aus den gefundenen absoluten Differenzen zu berechnen, um einen Anhaltspunkt für die Größe derselben schon jetzt zu geben. Dass die Unterschiedsempfindlichkeit in der Dunkeladaptation eine sehr geringe sei, bemerkte schon Hillebrand, dass sie aber eine so geringe sei, konnte er bei dem von ihm angewandten Verfahren nicht feststellen. Es geht das aus seinen Fehlern hervor, die er wie folgt angiebt:

Für Rot . . . . 0,3°
» Blau . . . . 4,0°
» Grün . . . 6,0°
» Gelb . . . . 5,5°

Bei der Berechnung der relativen Unterschiedsempfindlichkeit sind die mitgeteilten Versuchswerte in Helligkeitswerte umgerechnet.

Tab. III.

1. Rot	$\frac{1,005}{1,06} = \frac{1,0}{1,1} = \frac{1}{1}$
2. Orange	$\frac{2,05}{6,5} = \frac{1,025}{3,25} = \frac{1}{3}$
3. Gelb	$\frac{4,195}{22,95} = \frac{1,026}{5,74} = \frac{1}{6}$
4. Gelbgrün I. . .	$\frac{3,975}{21,025} = \frac{0,994}{5,3} = \frac{1}{5}$
5. Gelbgrün II . .	$\frac{3,26}{17,797} = \frac{1,09}{5,93} = \frac{1}{6}$
6. Grünblau . . .	$\frac{3,59}{20,915} = \frac{1,2}{6,97} = \frac{1}{7}$

7. Blaugrün . . .	$\frac{1,2}{10,575} = \frac{1}{11} = \frac{1}{11}$
8. Blau	$\frac{1,06}{4,195} = \frac{1,1}{4,2} = \frac{1}{4}$
9. Violett	$\frac{1,17}{3,26} = \frac{1,2}{3,3} = \frac{1}{3}$
10. Purpur	$\frac{0,54}{1,308} = \frac{1,08}{2,616} = \frac{1}{3}$

Während als Durchschnittswert der relativen Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten bei Tageslicht der Bruch $\frac{1}{100}$ angesehen werden kann, scheint in der Dunkeladaptation derselbe nicht viel über $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{7}$ hinausgehen zu können und erreicht diese Größe auch nur bei den hellsten Farben. Nur im Blaugrün war die Unterschiedsempfindlichkeit größer und erreichte den Wert $\frac{1}{11}$. Von einer Konstanz der relativen Unterschiedsempfindlichkeit ist ebenfalls keine Rede, ebensowenig wie von der der absoluten. Die relative Unterschiedsempfindlichkeit nimmt mit der Abnahme der Helligkeit der Farben deutlich ab.

Nach dieser Abschweifung über die Unterschiedsempfindlichkeit bei schwächster Beleuchtung gehen wir nun dazu über, die nach der Dunkelmethode gefundenen Werte mit den aus der Nachbildmethode gewonnenen zu vergleichen.

In der folgenden Tabelle sieht man unter N die Werte der Nachbildmethode, unter Dk die der Dunkelmethode und unter D die Differenzen der beiden Werte, bezogen auf die ersteren $(N - Dk)$.

Tab. IV.

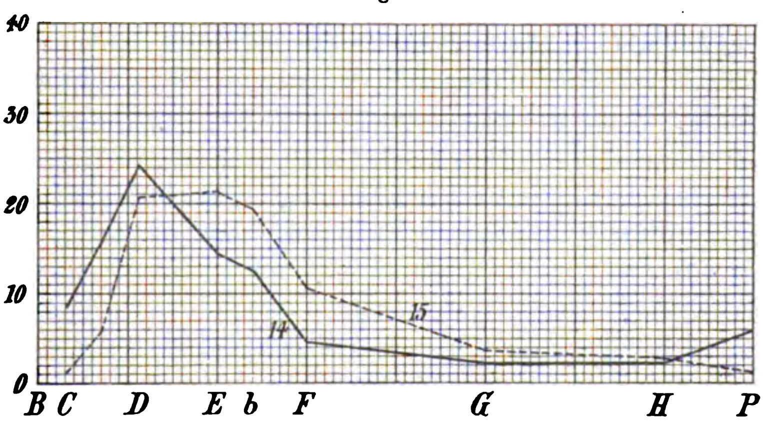
	N	Dk	D
1. Rot.	75° w	6° w	+ 69
2. Orange	140° w	49° w	+ 91
3. Gelb	215° w	183° w	+ 32
4. Gelbgrün I. . .	125° w	171° w	— 46
5. Gelbgrün II. . .	105° w	145° w	— 40
6. Grünblau . . .	110° w	172° w	— 62
7. Blaugrün . . .	40° w	89° w	— 49
8. Blau	15° w	32° w	— 17
9. Violett	15° w	23° w	— 8
10. Purpur	50° w	8° w	+ 42

Der langwellige Teil des Spektrums bis zum Gelb hat danach bei normalem Licht eine größere, der kurzwellige Teil eine geringere Helligkeit als bei minimaler Beleuchtung. Purpur gliedert sich den roten Tönen an. Je mehr Rot und Gelb, um so heller, je mehr Grün und Blau, um so dunkler ist ein Farbenton bei Tagesbeleuchtung im Vergleich zu demselben Tone bei schwächster Lichtstärke. So werden wir nach dieser Zusammenstellung urteilen müssen.

Die folgende Figur (Fig. 2) lässt das Verhalten der beiden Helligkeitsreihen noch deutlicher hervortreten. Kurve 14 entspricht der Tagesbeleuchtung, Kurve 15 der Minimalbeleuchtung. Um den Betrag, um welchen die Ordinaten der einen Kurve höher sind als die anderen, überwiegt die Helligkeit des betreffenden Farbentones und der betreffenden Helligkeitsreihe. Die Kurve für die Reihe der Dunkelmethode würde derjenigen Hillebrands noch ähnlicher sehen, wenn das zu Grunde gelegte Verhältnis von Weiß und Schwarz größer genommen wäre. Bei Kurve 14 tritt die Ähnlichkeit auch so

noch hervor. Im übrigen hat die abgeflachte Kurve 15, wie sie aus meinen Versuchsangaben sich gestaltet, darum die Wahrscheinlichkeit größerer Richtigkeit, weil bei ihrer Aufstellung der großen Unterschiedsschwelle Rechnung getragen ist. In allen wesentlichen Punkten stimmen die Ergebnisse Hillebrands und die meinigen überein.

Fig. 2.



Blickt man von hier auf die Gleichungen (vergl. oben S. 140) zurück, welche Hillebrand-Hering auf den Begriff der spezifischen Farbe führten, so erklären sie sich von selbst. Dieselben sind so aufgestellt, dass die Gesamthelligkeit der Mischungen je einer Farbe einander gleich sind. Die Helligkeitsbestimmung beruht aber auf der Messung nach der Dunkelmethode. Betrachtet man dieselben Scheiben bei gewöhnlichem Licht oder stärkerer Beleuchtung, so erscheinen sie, wie sie nach den Messungen der Nachbildmethode erscheinen müssen. Bei Gelb und Rot also, die bei Licht eine größere Helligkeit besitzen, müssen diese Überschüsse um so mehr hervortreten, je mehr von der Farbe die Mischung enthält, bei Grün und Blau, wo die Tageshelligkeiten im Verhältnis

zu der minimalen Beleuchtung kleinere Werte haben, müssen die Scheiben um so dunkler erscheinen, je ausgebreiteter der farbige Sektor ist.

Es hat sich also gezeigt, dass die von mir gefundenen Werte mit denen Hillebrands bis auf ganz geringfügige und nebensächliche Abweichungen überraschend gut stimmen. Es sind hier wie dort zwei Reihen von Helligkeitswerten gefunden, die Art wie sie von einander abweichen ist die gleiche, die Art wie sie die auffallenden Erscheinungen der spezifischen Helligkeit zahlenmäßig erklären, ist ebenfalls die gleiche. Es ist nur ein wesentlicher Unterschied. Die Reihe der Helligkeitswerte für normale Lichtintensitäten, für Tageshelligkeiten, wie wir uns ausdrückten, ist bei Hillebrand gefunden durch direkte Vergleichung mit weißen Reizwerten, bei mir durch die Nachbildmethode. Das der thatsächliche Unterschied. Und die theoretische Folgerung? Sie kann unseres Erachtens keine andere sein als die: die Helligkeitswerte, wie sie durch direkte Vergleichung und nach der Nachbildmethode sich finden lassen, entsprechen der Weißvalenz der Farbe. Daraus folgt aber wieder: die Helligkeitswerte der Farben, die sich bei Minimalbeleuchtung nach der Dunkelmethode ergeben, beruhen zwar auch auf den weißen Valenzen des verschiedenwelligen Lichtes, ihre spezifischen Abweichungen von den erstgenannten Werten beweisen aber, dass unter den veränderten Bedingungen der Minimalbeleuchtung und Dunkeladaptation ganz und gar veränderte Erregungs- und Empfindungsverhältnisse eintreten, dass somit die Vorgänge in der Dunkeladaptation nicht zum Maßstab irgend welcher normalen Verhältnisse gemacht werden dürfen. Der Begriff der spezifischen Helligkeit der Farben, wie er durch Hering-Hillebrand formuliert ist, wäre danach aufzugeben.

Um diese Schlussfolgerungen eindringlicher zu machen,

weise ich zuerst darauf hin, dass die spezifische Helligkeit der Farbenempfindung auch für die Heringsche Farbentheorie ein übler Ballast ist. Hillebrand gelangt, um die Erscheinungen in seinem Sinne annehmbar zu machen, zu der Auskunft, die spezifische Helligkeit bei den Dissimilationsfarben Rot und Gelb für eine Folge des Dissimilationsvorganges in der farbigen Substanz oder eines Umstandes bei Gelegenheit dieses Vorganges, die spezifische Dunkelheit, um diesen Ausdruck zu gebrauchen, für eine Folge des Assimilationsvorganges bei den Assimilationsfarben Grün und Blau zu halten.

So glaube ich wenigstens die folgende etwas unbestimmte Erörterung Hillebrands verstehen zu müssen. Er sagt: »Wenngleich nämlich assimilierende sowohl als dissimilierende Lichtstrahlen durch ihre Einwirkung auf die farbig empfindende Substanz sofort auch die A-Disposition beziehungsweise die D-Disposition herabsetzen, und so die einen wie die andern nach längerer Reizung einen Zustand herbeiführen, in welchem die diesen Prozessen entsprechenden Farben gar nicht mehr über die Schwelle treten, so besteht doch ein wesentlicher Unterschied in den nervösen Vorgängen, jenachdem ein solcher Zustand durch einen A-Reiz oder D-Reiz herbeigeführt wird. Die durch einen D-Reiz erzeugten Dissimilierungsproducte werden nämlich auf Kosten der irritablen Substanz gebildet, deren Quantität sie mithin vermindern — von den qualitativen Änderungen hier ganz abgesehen —; wenn ein lang ausdauernder D-Reiz daher auch nicht die Substanz zerstört, da sich, wie erwähnt, doch wieder ein erzwungener Gleichgewichtszustand etabliert, so wirkt er doch erschöpfend, d. h. er hat für sich genommen die Tendenz, die nervöse Substanz zu vernichten, und würde dies auch thun, wenn ihm nicht die geminderte D-Disposition und die gesteigerte Assimilierung entgegenarbeiten würden. Diese er-

schöpfende Tendenz aber hat in bezug auf die Empfindung ihren Ausdruck in einer größeren Helligkeit. Wenn wir also in der Reihe der farblosen Empfindungen das die Helligkeit bestimmende Weiß als an die Dissimilierung geknüpft ansehen, so werden wir auch unter den farbigen Empfindungen die spezifisch helleren als Dissimilationsempfindungen anzusehen haben. Auf diese Weise findet somit die Thatsache der verschiedenen spezifischen Helligkeit ihren physiologischen Ausdruck« (S. 51).

Nun liegt die Hauptstärke der Heringschen Theorie gerade in dem Umstande, dass sie durch ihre Unterscheidung eines farblosen und zweier farbiger Prozesse der relativen Unabhängigkeit der Helligkeitsempfindungen von den Farbenempfindungen gerecht zu werden vermag. Wenn jetzt zur Erklärung der spezifischen Helligkeit eine Wirkung des homogenen Lichtes in den die Farbenempfindungen erregenden Substanzen angenommen wird, so ist das nicht nur ein Schönheitsfehler der Theorie, sondern ein Versagen derselben.

Zweitens aber bedarf es noch einer Wiederholung der Gründe, dass wirklich durch die Nachbildmethode die Weißvalenzen der homogenen wie der gemischten Lichter gefunden worden. Nur einer Wiederholung; denn alle Thatsachen, die wir in diesem Hefte neu kennen gelernt haben, weisen darauf hin. Es folgt zuerst aus der Natur der Nachbildmethode. Die Nachbildmethode ist nur eine Anwendung des Gesetzes des Helligkeitswertes der Nachbilder. Betrachte ich eine graue Scheibe länger als eine ganz kurze Zeit auf einer farbigen Fläche, so hellt sich dieselbe auf, wenn das Grau der Scheibe dunkler ist als der farbige Grund und verdunkelt sich, wenn sie heller ist, als derselbe, gerade so, wie es der Fall ist, wenn der Grund nicht eine Farbe, sondern ebenfalls eine graue Fläche ist. Es würde zu den verwickeltsten Annahmen

führen, wollte man glauben, dass die gleiche Wirkung in den beiden Fällen verschiedene Ursachen haben könnte.

Es folgt aber noch weiter aus der Natur der durch die Methode erhaltenen Werte. Bestimmt man die Helligkeit zweier komplementärer Farben nach der Nachbildmethode und misst die Helligkeit des Grau der komplementären Mischung, so ergiebt sich, dass dieselbe gleich ist der Helligkeit derselben Scheibe, wie sie sich nach dem Talbotschen Gesetz aus jenen gefundenen Einzelwerten berechnen lässt. Wenn nun die komplementäre Mischung eine Folge ist der antagonistischen Wirkung der farbigen Prozesse, wie es aller Wahrscheinlichkeit nach der Fall ist und wie es die Heringsche Theorie annimmt, so stellt das Grau der komplementären Mischung die Weißvalenz dar. Entsprach dies Grau den durch die Nachbildmethode gefundenen Helligkeiten der komponierenden Farben, so misst die Nachbildmethode folglich die Weißvalenz. Endlich sahen wir, dass die durch die Nachbildmethode gefundenen Helligkeitswerte gut übereinstimmen mit den durch die direkte Vergleichung gefundenen Helligkeitswerten. Über diese Übereinstimmung kann ein Zweifel nicht bestehen. Es blieben Unterschiede nur in nebensächlichen Punkten; die Kurve der Nachbildmethode setzt höher ein als die durch direkte Vergleichung gewonnene, vermutlich infolge der subjektiven Schwierigkeiten, die mit dieser verbunden sind. Wenn aber dies der Fall ist, wenn die Nachbildmethode das misst, was die Helligkeit einer Farbe kurzweg heißt, und was sich zugleich als Weißvalenz ausweist, einmal infolge der Natur der Methode, sodann bei Herstellung der Weißvalenzmischungen der Komplementärfarben, so folgt, dass die abweichenden Werte der Dunkelmethode eben die Helligkeit der Farbe und ihre Weißvalenzen nicht messen können. Was durch die eine Methode gemessen wird, kann durch die

andre nicht gemessen werden, so lange die Werte nicht wirklich übereinstimmen.

Es bleibt also nur übrig, anstatt für die Helligkeiten der Farbenempfindung bei Tage den Begriff des Spezifischen hinzuzuziehen, dies umgekehrt für die Verhältnisse der Minimalbeleuchtung zu thun; oder besser die Wirkung der homogenen Lichter auf die Schwarzweißsubstanz als eine von der Intensität des Lichtes abhängende, aber derselben nicht proportionale, sondern für die verschiedenen Lichter verschiedene Funktion anzusehen, deren nähere Natur zu erforschen wäre.

Es hat sich also im allgemeinen ergeben, dass wenn ein homogenes Licht der langwelligen Seite allein auf das Auge wirkt, die Helligkeitskomponente der dann entstehenden Empfindung einen größeren Wert hat bei den Tagesintensitäten als bei minimaler Lichtstärke; ist es ein Licht der kurzwelligen Seite, so ist dies umgekehrt. Die erste weitere Frage ist, ob dies Verhältnis den Charakter einer stetigen Funktion hat, ob man also wird sagen können, je stärker ein homogenes Licht der langwelligen Reihe ist, um so größer ist verhältnismäßig die Helligkeitskomponente der Empfindung und dieselbe nimmt mit der Lichtstärke gleichmäßig ab, oder ob die Helligkeitskomponente so lange eine relative Konstanz besitzt, als die Lichtintensität ein gewisses Minimum nicht erreicht hat, während sie mit diesem Minimum, dem Punkte, wo die farbige Komponente verschwindet, sogleich den oben gefundenen Wert erhielte. Auch dafür besitzen wir bereits mehrfache Anhaltspunkte, welche deutlich für die Stetigkeit dieser Beziehung sprechen.

Einmal weist darauf hin die Abhängigkeit, welche nach König und Brodhun die Farbengleichungen von der absoluten Intensität der Lichter haben (vergl. E. Brodhun, die

Gültigkeit des Newtonschen Farbenmischungsgesetzes u. s. w. in Ebbinghaus, Zeitschr. für Ps. u. Ph. d. S., Bd. 5, S. 323 ff). Sodann teilt Ebbinghaus einige Versuche mit, welche ebenfalls für die allmähliche und stetige Änderung der Weißvalenz der Farben bei Änderung der objektiven Lichtstärke sprechen (vergl. Theorie des Farbensehens, Zeitschr. für Ps. u. Ph. d. S. Bd. 5, S. 145). Ebbinghaus macht den interessanten Versuch, für die von der Heringschen Theorie zu fordernden drei Sehsubstanzen andere und genauere physiologische Vorstellungen im Anschluss an das bisher über den Sehpurpur und das Sehgelb bekannt Gewordene zu gewinnen. In allen wesentlichen Punkten schließt sich Ebbinghaus der Heringschen Theorie an. Auch in bezug auf die Ausstellungen, die Ebbinghaus an dieser Theorie macht und die mit der Frage der spezifischen Helligkeit der Farben eng zusammenhängen, sind die von Ebbinghaus gebildeten Anschauungen denen Herings und Hillebrands nahe verwandt, nur dass Ebbinghaus den Gedanken noch mehr zuspitzt, den wir als einen Abfall von der Heringschen Theorie bezeichnen mussten, dass nämlich an den Schwarzweißempfindungen nicht blos die Schwarzweißsubstanz sondern auch die Farbsubstanzen beteiligt seien. Er sagt: »Zunächst wird bei den Zersetzungen des Sehpurpurs und Sehgelbs, ganz wie bei denen der Weißsubstanz, Energie frei (naturgemäß aus dem Sehgelb in geringerer Menge als aus dem höher zusammengesetzten Sehpurpur). Diese bewirkt Reizung der Nerven, und deren Effekte werden uns schließlich bewusst, ganz wie vorhin, als Empfindungen der Helligkeit. Die aus der jederzeitigen Zersetzung der Weißsubstanz stammende gleichartige Empfindung wird hierdurch lediglich verstärkt, da der Nerv keine Unterscheidungsfähigkeit dafür besitzt, woher die ihn erregende Energie kommt. Zugleich aber erhält in diesem Falle die nervöse

Erregung einen eigentümlichen, seinem Wesen nach unbekannten Nebencharakter, der provisorisch als Rhythmisierung der Reizung oder der Erregung bezeichnet wurde« (S. 235). Auf dieser Rhythmisierung soll dann der farbige Bestandteil der Empfindung beruhen. Also Hering postulierte drei Substanzen zur Erklärung der Empfindungen von Helligkeit und Farbe; drei mussten es wenigstens sein wegen der Mischungsgesetze und der Unabhängigkeit der farbigen Erregung von der farblosen. Wenn diese Unabhängigkeit nun doch nicht sich als so rein herausstellt, wie es zuerst schien (infolge der Erscheinungen der spezifischen Helligkeit), dann wird die Helligkeitsempfindung den Zersetzungsprozessen und der Energieentwicklung aller drei Substanzen ausgeliefert und der farbige Bestandteil zur Folge eines unbekannten Etwas bei diesen Prozessen gemacht. Freilich der Nerv merkt es ja nicht! Aber der Leser merkt, dass hier aus einem methodisch richtigen Postulat unvermerkt ein sehr verzwickter Missbegriff geworden ist.

Alle solche Neuerungen werden unnötig, wenn man mit uns aus der Tab. IV (S. 148) schließt, dass die Helligkeit der Farbenempfindungen allein von der Weißvalenz der farbigen Lichter abhängt, aber eine Funktion der objektiven Lichtstärke ist. Die uns interessierenden Beobachtungen, welche Ebbinghaus bei dieser Gelegenheit mitteilt, sind die folgenden: »An einem Farbenmischapparate des Herrn von Helmholtz mischte ich einerseits Weiß aus dem äußersten Rot des Spektrums und dem zugehörigen Blaugrün, andererseits gleichfalls Weiß aus dem Gelb etwa der Natriumlinie und dem zugehörigen Blau. Beide Felder wurden auf gleiche Helligkeit gebracht und ihre objektive Lichtstärke dann gleichmäßig für beide Seiten und sehr stark herabgesetzt. Das aus Rot und Grün gemischte Weiß wurde entschieden heller, als das aus

Blau und Gelb bestehende. Die Felder wurden jetzt bei schwacher Beleuchtung wieder gleich hell gemacht und ihre objektive Lichtstärke erheblich gesteigert. Das aus Blau und Gelb gemischte Weiß hellte sich entschieden schneller auf, als das Rot und Grün enthaltende.« Also: »Mischungen von Komplementärfarben, die bei sehr schwachem Lichte gleich hell sind, d. h. in der Terminologie Herings, deren weiße Valenzen dieselbe Summe haben, können doch bei gewöhnlichem Lichte ganz verschieden hell aussehen. Und umgekehrt, Mischungen von Komplementärfarben, die bei gewöhnlichem Lichte gleiche Helligkeit zeigen, können gleichwohl einen ganz verschiedenen Gesamtwert ihrer weißen Valenzen besitzen« (S. 173). Ebbinghaus fügt dann hinzu, und das ist für uns das Wichtigste, dass das Phänomen eintritt und betrachtet werden konnte, »längst ehe jene Grade der Dunkelheit erreicht waren, an die man sich erst durch längeren Aufenthalt adaptieren muss«. Es folgt daraus, dass falls die von Ebbinghaus beobachteten Helligkeitsveränderungen sich aus unserer obigen Tab. IV und der in ihr liegenden Helligkeitsfunktion der verschiedenen homogenen Lichter erklären lassen, diese Helligkeitsfunktion eine stetige sein muss. Dass dies wirklich der Fall ist, dass diese und alle ähnlichen Erscheinungen, die gerade in jüngster Zeit so viel Interesse erregt haben, durch unseren oben ausgesprochenen Satz ihre Erklärung finden, ist zunächst nichts als eine Vermutung. Die Sicherheit kann erst durch besondere hierauf gerichtete Versuche gewonnen werden. Es ist dabei die Helligkeit der zu einem solchen Graugemisch verwandten Farben gesondert durch die Nachbildmethode zu bestimmen und die Gesamthelligkeit unter Berücksichtigung der notwendig gewesenen Sektorenanzahl (bezw. Spaltbreiten) zu berechnen. In dieselbe Rechnung sind dann die nach der Dunkelmethode gefundenen

Helligkeitswerte einzusetzen und die hieraus sich ergebenden Gesamtwerte mit den erst gefundenen zu vergleichen. Außerdem ist die Frage nach der Stetigkeit der Helligkeitsfunktion der homogenen Lichter direkt zu untersuchen. Es wäre zu wünschen, dass diese Untersuchungen auch mit spektralen Lichtern ausgeführt würden. Eine principielle Schwierigkeit liegt dabei nicht vor. Nur dürften die heute vorhandenen Mittel der psychologischen Laboratorien für eine solche Arbeit kaum ausreichen.

An diesen Folgerungen, deren genaue Tragweite heute noch nicht vollkommen zu übersehen ist, kann auch der Umstand nicht irre machen, dass die Helligkeitsverteilung des Spektrums bei einem total Farbenblinden, wie Hering zeigte, mit der Helligkeitsverteilung des Farbentüchtigen in der Dunkeladaptation, wenigstens in dem von ihm untersuchten Fall, genau übereinstimmte (vergl. Pflüger Bd. 49 S. 563 ff.). Es lag gewiss nahe, in diesem Befunde eine Bestätigung der Annahme zu sehen, dass die Weißvalenz der Farben in der Dunkeladaptation zur Erscheinung gelange, und die totale Farbenblindheit als einen Zustand anzusehen, bei welchem diese Weißvalenz allein ohne farbige Zumischung und ohne Wirkung der farbigen Lichter auf die Farbsubstanzen zum Bewusstsein kommt. Da sich nunmehr aber mit Sicherheit herausgestellt hat, dass der ganze Helligkeitswert der Farbenempfindungen eines Farbentüchtigen auf der Weißvalenz der homogenen Lichter beruht, bleibt nur übrig anzunehmen, dass der Zustand der Netzhaut des Farbenblinden demjenigen veränderten Zustand der Netzhaut des Farbentüchtigen gleicht, welche dieser in der Dunkeladaptation gewinnt. Der Zustand des Farbenblinden kann dann aber nicht mehr einen Maßstab abgeben für die Beurteilung der Normalsichtigen, ebensowenig als fürderhin nach der Weißvalenz der Farben in der Dunkel-

adaptation die Weißvalenz bei vollem Lichte beurteilt werden darf.

Fragt man endlich, welches denn die physiologischen Ursachen des so eigentümlichen Verhaltens der Helligkeitsfunktion homogener Lichter sei, so dürfte bei dieser Frage eine Verlegenheit nicht entstehen, wenn es auch nicht unsere Absicht ist, der Physiologie hier vorzugreifen. Am nächsten liegt es, die Wirkung der homogenen Lichter auf die farbigen Substanzen in Anspruch zu nehmen; denn diese Wirkung ist doch aller Wahrscheinlichkeit nach auch bei minimaler Lichtstärke, wenn sie auch nicht in der Empfindung hervortritt, vorhanden. Es könnten die Spaltungsprozesse der farbigen Substanzen diejenigen der Schwarzweißsubstanz hemmend oder fördernd beeinflussen. J. von Kries hat neuerlich in einem interessanten Aufsatz die Stäbchenschicht als Dunkelapparat zur Vermittelung der Helligkeitsempfindungen eines Farbenblinden und des Farbentüchtigen bei minimaler Beleuchtung unterschieden von dem Hellapparate des Normalsehenden. Aus dem Zusammenwirken der beiden Apparate sollen die Erscheinungen, welche uns hier beschäftigt haben, erklärt werden (von Kries, über die Funktion der Netzhautstäbchen in Ebbinghaus, Zeitschrift für Ps. u. Ph. d. S. Bd. 9, S. 81 ff.). Auch diese Vorstellungsweise dürfte nur wenig Wahrscheinlichkeit besitzen, falls die Weißvalenz der homogenen Lichter thatsächlich, wie wir vermuten, als stetige Funktion der Intensität derselben sich erweisen sollte. Dass das Rot nahezu keine Weißvalenz besitzt, ist schon heute mit Sicherheit als eine falsche Voraussetzung, mit welcher von Kries rechnet, anzusehen.

6.

Über den Einfluss der Lichtstärke auf die Helligkeit der Farbenempfindungen

von

Götz Martius.

Vortrag, gehalten auf dem 3. internationalen psychologischen Congress zu München.

Die kurze Mitteilung, welche ich zu machen gedenke, ist eine Ergänzung zu der von mir in den »Beiträgen zur Psychologie und Philosophie« bereits veröffentlichten Untersuchungen. Ich habe dort eine neue Methode angegeben, die Helligkeitskomponente der Farbenempfindungen zu bestimmen. Diese Methode beruht auf dem von mir aufgestellten Gesetz über den Helligkeitswert der Nachbilder. Sie führt zu einigen Konsequenzen, die ein helles Licht über das Wesen der Helligkeit der Farbenempfindungen verbreiten, Konsequenzen, die sich in den hier mitzuteilenden Erweiterungen der Versuche auf das beste bestätigt haben.

Die bis vor kurzem in fast allgemeinem Ansehen befindliche Ermüdungstheorie zur Erklärung der Nachbilder ging von der Beobachtung aus, dass nach längerer Fixierung beispielsweise eines Stückes Papiers von gewisser Helligkeit eine gleichmäßig graue Fläche, nach der man seinen Blick richtet, in dem Umfang des vorher fixierten Papiers dunkler erscheint als die Umgebung, wenn das Papier etwa weiß auf schwarzem Grunde war, heller dagegen, wenn es umgekehrt

schwarz auf weißem Grunde war. Die Erklärung schien darin zu liegen, dass die dem fixierten Papier entsprechenden Netzhautpartien verhältnismäßig weniger ermüdet sind, als ihre Umgebung, wenn die fixierte Fläche dunkler ist als ihre Umgebung, und umgekehrt mehr ermüdet, wenn sie heller ist. Ein neuer Eindruck, der diese Teile des empfindenden Organs trifft, muss dann heller aussehen als der übrige Teil des objektiv gleichartigen Sehfeldes, da die diesem entsprechenden Netzhautteile durch den vorhergegangenen schwächeren Eindruck verhältnismäßig weniger ermüdet sind, und umgekehrt.

Bereits Hering hat dieser Theorie gegenüber geltend gemacht, dass es sich bei den fraglichen Erscheinungen keineswegs um bloße Ermüdungsvorgänge, um bloße relative Änderungen der Helligkeitsempfindlichkeit handeln kann. Es zeigt sich dies schon in der Art, wie eine reagierende Fläche, so wollen wir die als gleichmäßig hell angenommene Fläche nennen, auf die man nach vorhergegangener längerer Lichteinwirkung seinen Blick richtet, nach verschiedenartiger »Ermüdung« der einzelnen Netzhautpartien beeinflusst erscheint. Nicht einfach heller sieht die den weniger ermüdeten Partien entsprechende Stelle aus, als die der unermüdeten, sondern vielmehr überhaupt heller, also heller wie dieselben Eindrücke dem gänzlich unermüdeten Auge erschienen sind oder erscheinen würden. Dazu kommen aber andere Thatsachen, die eine andere Erklärungsweise der ganzen Erscheinungen gebieterisch fordern.

Zunächst scheint es mir sicher, dass Nachbilder, sei es successive oder simultane, überhaupt nur entstehen, wenn Helligkeitsunterschiede im Sehfeld bei der Fixation vorhanden sind. Nimmt man eine das ganze Sehfeld ausfüllende blendend weiße Fläche vor Augen und fixiert dieselbe, so entsteht keine Verdunkelung durch ein Nachbild, obschon die Ermüdung in diesem Falle doch eine besonders starke sein müsste.

Herr Henry hat gegen diese Behauptung in der ersten mir vorgekommenen Besprechung meiner diesbezüglichen Ausführungen Einspruch erhoben. Er glaubt, dass dieselbe nicht bewiesen sei. Er berichtet, dass er eine das ganze Sehfeld einnehmende weiße Fläche zwei ganze Minuten fixiert habe. Es habe ihm nach dieser Zeit geschienen, als ob dann eine Änderung der Helligkeit eingetreten sei (qu'en le fixant pendant deux minutes environ il semble devenir plus sombre). Das ist meiner Meinung nach viel mehr eine Bestätigung als eine Widerlegung meiner Behauptung. Denn wer irgend die Folgen längeren Fixierens beobachtet hat, weiß, dass die Nachbild- oder Ermüdungserscheinungen nach kürzester Zeit sich aufdringlich bemerkbar machen; er weiß auch, dass eine strenge Fixation von zwei ganzen Minuten das Auge in schmerzhafter Weise anstrengt. Es pflegen dann Nebenwirkungen wie vermehrte Thränenabsonderung u. dgl. einzutreten, welche den Schein der schließlichen Verdunkelung sehr wohl erklären können. Was nach so langer Fixation einzutreten »scheint«, darf mit den ganz gesetzmäßig auftretenden Erscheinungen bei Vorhandensein von Helligkeitsdifferenzen nicht verwechselt werden.

Zweitens aber ist leicht zu beobachten, dass die in Folge der Fixation verschieden heller Flächen bei Veränderung des Blickes eintretenden Aufhellungen und Verdunkelungen des reagierenden Feldes deutlich zeitlich von der normalen Wahrnehmung dieses getrennt sind, und dass die Zwischenzeit zwischen der Projektion der Nachbilder und der Neurichtung des Blickes so groß ist, dass es leicht gelingt, eine reagierende variable Fläche der Helligkeit nach so einzustellen, wie eine durch Fixation veränderte Fläche erschien, ehe die reagierende variable Fläche durch die Nachbildwirkung in ihrem Aussehen verändert wird[1]).

1) Vergl. Heft 1 dieser Beitr. S. 36 ff.

Auch hier ist ein Einwand mit Unrecht gemacht worden, als ob es nur eine willkürliche Sache der Definition sei, wenn man die Wahrnehmung der reagierenden Fläche in den ersten Zeitmomenten der Hinrichtung des Blickes auf sie eine normale nenne. Sie ist eine normale mit dem besten Grunde der Welt. Denn sie unterscheidet sich in nichts, auch nicht in dem erzielten Eindruck, von der Wahrnehmung eines unermüdeten Auges, und es tritt nach Verstrich von höchstens einigen Sekunden an die Stelle dieser normalen Wahrnehmung die durch die Nachbilder oder, nach der kritisierten Anschauung, durch die Ermüdung beeinflusste ein. Es handelt sich also nicht um eine willkürliche Definition des Normalen, sondern um ein thatsächliches Nacheinander zweier Eindrücke, des mit der unermüdeten, also normalen Wahrnehmung übereinstimmenden und des durch die Ermüdung beeinflussten. Das angeblich ermüdete Auge ist im eigentlichen Sinne des Wortes der normalen Leistung fähig. Erst nach einer merklichen und bestimmbaren Zeit wird der normale Eindruck durch die über die reagierende Fläche sich ausbreitenden Nachbilder beeinflusst.

Eine nähere Untersuchung des Einflusses der Helligkeitsdifferenz einer fixierten Helligkeit und ihrer Umgebung auf die Gestaltung der Nachbilderscheinungen hat ergeben, dass dieser Einfluss ein ganz gesetzmäßiger ist. Die Art der Helligkeitsdifferenz bestimmt einerseits die Art der entstehenden Nachbilderscheinungen, andererseits auch das Quantum der Helligkeitsveränderungen, das aber zugleich, wie bereits früher Herr von Kries gezeigt hat, von der Zeitdauer der Fixation mit abhängig ist.

Darnach gilt ganz allgemein das Gesetz, dass irgend eine Helligkeit, welche mehr als eine ganz kurze Zeit mit ruhendem Blick betrachtet wird, eine scheinbare Einbuße ihrer Intensität erleidet, sobald der sie umgebende Grund dunkler

ist als sie selbst, dagegen einen Gewinn, sobald der Grund heller ist.

Es gilt ferner der Satz, dass die Größe des Helligkeitsverlustes oder -gewinnes abhängig ist von der Größe der Differenz der Helligkeiten und von der Länge der Fixationsdauer.

Dieses Gesetz, dessen weitere Erklärung hier auf sich beruhen mag, hat mir nun gedient zur Gewinnung der neuen Methode, die Helligkeit eines farbigen Eindruckes zu bestimmen.

Dass eine jede farbige Fläche zugleich eine gewisse Helligkeit besitzt, drängt sich schon bei der Betrachtung eines Spektrums oberflächlicher Beobachtung auf. In seinen Epoche machenden Untersuchungen hat Hering gezeigt, dass dieser Helligkeitsbestandteil einer Farbenempfindung eine gewisse Unabhängigkeit von dem farbigen Bestandteil besitzt. Ein schwaches homogenes Licht erscheint nicht farbig, aber von bestimmter Helligkeit. Die Helligkeitsunterschiede der Farben ändern sich mit der Intensität des einwirkenden Lichtes. Die Farbenblinden sehen keine Farben aber Helligkeitsunterschiede.

Es ist daher mit Hering anzunehmen, dass in einer Farbenempfindung zwei Wirkungsweisen einfacher Lichter zum Ausdruck kommen: die Wirkung auf eine weißempfindliche und die Wirkung auf eine farbenempfindliche Substanz. Die beiden Wirkungsweisen verbinden sich aber psychologisch in der Empfindung zu einem einheitlichen untrennbaren Gesamteffekt. Wir sind infolgedessen nicht im stande, unter Abstraktion von der Farbe die Helligkeit eines farbigen Eindruckes mit einer farblosen Helligkeit genau zu vergleichen und diese nach jener einzustellen.

Unser Urteil über die Frage, welche farblose Helligkeit der Helligkeit einer Farbenempfindung gleich ist, beruht nicht auf einer erkennbaren Gleichheit der verglichenen Empfindungen, sondern auf einer Schätzung ihrer Ähnlichkeit. Wir

ordnen schätzend eine Farbenempfindung in die Reihe der farblosen Grauwerte ein.

Dagegen das geschilderte Gesetz des Helligkeitswertes der Nachbilder ermöglicht es, ein Urteil über die Helligkeitskomponente einer Farbe zu gewinnen, welches auf unmittelbarer Empfindung beruht.

Es führt dazu die einfache Überlegung, dass dies Gesetz auch von dem Verhältnis einfacher Helligkeiten zu farbigen Helligkeiten gelten muss, falls in der That in den Farbenempfindungen die Helligkeitskomponente selbständig enthalten ist. Der Versuch bestätigt diese Annahme in jeder Weise.

Legt man zuerst ein weißes Stück Papier auf einen farbigen Bogen, so verdunkelt es sich, ein schwarzes Stück Papier hellt sich auf. Dasselbe gilt von einem etwas weniger weißen und einem etwas weniger schwarzen. Es muss dann für jeden farbigen Eindruck ein bestimmtes Grau geben, bei welchem weder Verdunkelung noch Aufhellung durch die Fixation erzeugt werden kann, und es muss derjenige Moment bei einer solchen successiven Fortsetzung der Versuche festgestellt werden, bei welchem, wenn man von Weiß ausgeht, die Verdunkelung in Aufhellung, und umgekehrt, wenn man von Schwarz ausgeht, die Aufhellung in Verdunkelung übergeht. Das entsprechende Grau ist der Helligkeit der Farbenempfindung gleich zu setzen.

Stellt man solche Versuche an, so zeigt sich schnell, dass sie leicht und sicher von statten gehen, der beste Beweis, dass die Methode ihre Berechtigung in sich selbst trägt.

Um so wichtiger wird dadurch die Frage, wie die durch die Nachbildmethode zu findenden Werte beschaffen sind, und wie sie sich verhalten zu den nach direkter Vergleichung gefundenen Werten.

Von vornherein ist so viel sicher, dass die Methode ganz und gar auf der bloßen Helligkeitswirkung eines farbigen

Lichtes beruht. Die Farbigkeit des Ringes kommt gar nicht zur Geltung; der farbige Reiz vertritt im Grunde nur ein Grau von bestimmter und durch die Methode auffindbarer Helligkeit. Nennt man also die Helligkeitswirkung eines farbigen Lichtes seine Weißvalenz, so müssen wir von vornherein annehmen, dass durch die Nachbildmethode schlechthin die Weißvalenz der Farben gemessen wird.

Nun hat aber Hering zur Bestimmung eben der Weißvalenz der Farbe eine andere Methode ersonnen, die Vergleichung einer farbigen Scheibe bei sehr geringer Belichtung mit einer farblosen. Dieser Methode liegt die berechtigte Anschauung zu Grunde, dass der farbige Bestandteil einer Farbenempfindung bei minimaler Beleuchtung unter die Schwelle sinkt, also unwirksam wird, so dass der farblose allein übrig bleibt, beobachtet und mit einem variablen Grau verglichen werden kann.

Da Hering und mit ihm Hillebrand die nach dieser Methode gefundenen Weißvalenzwerte der Farbenempfindung verschieden fanden von den Helligkeitswerten derselben Farbenempfindung bei direkter Vergleichung, gelangten sie folgerichtig zum Begriff der spezifischen Helligkeit der Farbenempfindungen, indem sie die positive oder negative Abweichung der durch ihre Dunkelmethode gefundenen Werte von den nach direkter Vergleichung gefundenen durch eine spezifische Wirkung der farbigen Lichtreize zu erklären suchten.

Überblickt man diese Thatsachen, so musste man erwarten, dass die nach der neuen Nachbildmethode zu findenden Helligkeits- oder Weißvalenzwerte mit den durch die Dunkelmethode gefundenen übereinstimmen würden.

Diese Erwartung ist nun arg getäuscht. Es trat das Gegenteil ein. In der vorliegenden Tabelle sehen Sie in den beiden fettgedruckten Reihen die ursprünglich von mir gefundenen und

bereits veröffentlichten Werte[1]), die Reihe II nach der Nachbildmethode, die Reihe D nach der Dunkelmethode. Die beiden Reihen sind total verschieden. Dagegen zeigt eine Vergleichung der nach der Nachbildmethode (II) gefundenen Werte mit früheren nach der Methode der direkten Vergleichung gefundenen Bestimmungen, wie sie von Fraunhofer, Vierordt, Hillebrandt u. A. ausgeführt sind, eine gute Übereinstimmung. Es war also das Gegenteil des ursprünglich Erwarteten eingetreten und damit die Wichtigkeit und Tragweite der Methode noch erhöht.

Offenbar giebt es hier nur die eine Wahl: entweder man muss bestreiten, dass die neue Nachbildmethode die Weißvalenzwerte der Farbenempfindung zu bestimmen im Stande ist — oder man muss zugeben, dass die Werte der Dunkelmethode dies nur in einseitiger Weise für den Fall der geringsten Lichtstärke thun. Ich glaube, dass alles für die letztere Annahme spricht, da es keinen Schimmer von Grund giebt, welcher für die erste Eventualität angeführt werden könnte. Es folgt dann, dass die Helligkeitskomponente der Farbenempfindungen eine Funktion der Lichtstärke ist und zwar in der Art, dass der langwellige Teil des Spektrums bis zum Gelb bei normalem Licht eine größere, der kurzwellige Teil eine geringere Helligkeit besitzt als bei minimaler Beleuchtung. Und es war ferner dann zum wenigsten wahrscheinlich, dass diese Funktion eine stetige sei, dass also mit allmählich abnehmender Beleuchtung die Werte der Nachbildmethode sich denen der Dunkelmethode ebenso allmählich nähern würden.

Diese theoretische Folgerung ist nun durch die neuen Versuche, deren Ergebnisse die Tabellen enthalten, auf das genaueste bestätigt worden. Ich habe die zwei ursprünglichen

---

1) Vgl. diese Beitr. S. 148.

fett gedruckten) Reihen durch vier neue in einer der vorliegenden Frage entsprechenden Weise ergänzt.

Die Werte der ersten Tabelle sind die durch den Versuch gefundenen Grade Weiß, die dasjenige Grau enthalten musste, welches der untersuchten Farbenempfindung im einzelnen Falle sich gleich erwies. In der zweiten Tabelle sind die Grauwerte in Zahlen ausgedrückt, wobei wie früher das Verhältnis des benutzten Schwarz und Weiß wie 1 : 40 angenommen ist.

Tabelle I.

	Rot	Orange	Gelb	Gelbgrau I	Gelbgrau II	Grünbl.	Blaugr.	Blau	Viol.	Purp.
I	80° w	150° w	215° w	107,5° w	85° w	95° w	40° w	10° w	10° w	55° w
II	**75° w**	**140° w**	**215° w**	**125° w**	**105° w**	**110° w**	**40° w**	**15° w**	**15° w**	**50° w**
III	55° w	120° w	197,5° w	150° w	105° w	115° w	50° w	17,5° w	17,5° w	35° w
IV	30° w	77,3° w	195° w	160° w	110° w	130° w	67,5° w	20° w	20° w	15° w
V	10° w	55° w	190° w	170° w	125° w	140° w	77,5° w	25° w	20° w	10° w
D	**6° w**	**49° w**	**183° w**	**170° w**	**145° w**	**171° w**	**89° w**	**32° w**	**23° w**	**8° w**

Tabelle II.

I	9,20	16,90	24,05	12,20	9,75	10,85	4,80	1,50	1,50	6,45
II	**8,65**	**15,80**	**24,05**	**14,15**	**11,95**	**12,50**	**4,80**	**2,05**	**2,05**	**5,90**
III	6,45	13,60	22,12	16,90	11,95	13,05	5,90	2,33	2,33	4,25
IV	3,70	8,90	21,85	18	12,50	14,70	8,80	2,60	2,60	2,05
V	1,50	6,45	21,30	19,10	14,15	15,80	8,90	3,15	2,60	1,50
D	**1,06**	**5,79**	**20,53**	**19,21**	**16,35**	**19,32**	**10,19**	**3,92**	**2,93**	**1,28**

Die Helligkeitsstufen der angewandten Beleuchtung sind in der ersten Kolumne mit römischen Ziffern bezeichnet. Bei II war eine gut abgeblendete Auer-Lampe angewandt worden, die in 1 m Entfernung vor den Scheiben aufgestellt war und diesen ihr volles Licht zusandte. Dieselbe Lampe stand bei III in einer Entfernung von 4,25 m, bei IV in 8,50 m Entfernung. Da der

zu benutzende Dunkelraum einen größeren Abstand von Scheiben und Licht nicht zuließ, wurde eine weitere Abschwächung der Lichtquelle durch Abblendung der Flamme mittelst eines einfachen Seidenpapiers hergestellt. Die so gefundenen Werthe finden sich unter V. Über die erstangewandte Lichtstärke hinaus wurde die Beleuchtung gesteigert durch Hinzufügung einer zweiten gleichen Lampe, die aber nach ungefähren Schattenversuchen nur etwa die Hälfte der Leuchtkraft der ersten besaß, so dass die bei I angeführten Werte nicht bei doppelter, sondern bei etwa 1½facher Lichtstärke gewonnen sind.

Man sieht, die neuen Werte ordnen sich mit großer Genauigkeit in dem geforderten Sinne den alten ein. Es ergiebt sich daher der Satz:

»Die Helligkeitskomponente der farbigen Empfindungen ist eine Funktion der Lichtstärke, und zwar nimmt die Helligkeit der Farbenempfindungen des langwelligen Teils des Spektrums mit abnehmender Lichtstärke stetig ab, die Helligkeit der kurzwelligen Farben dagegen zu bis zu dem Werte, welcher bei minimaler Lichtstärke und Wegfall der farbigen Komponente gewonnen wird.«

So vorsichtig man in der Vergleichung von Ergebnissen, die mit spektralen Lichtern gewonnen sind, mit solchen an Pigmenten gefundenen auch sein muss, so ist doch hervorzuheben, dass die mitgeteilten Zahlen mit den von König in den Beitr. zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane (Leipzig 1891) S. 337 ff. mitgeteilten Ergebnissen, die an dem König-Helmholtz'schen Farbenmischapparat gewonnen sind, aufs beste stimmen. Auch die Untersuchungen von Tonn[1]) und v. Kries[2])

1) Vgl. Tonn, Über die Gültigkeit von Newton's Farbenmischgesetz, in Ebbinghaus, Zeitschr. f. Ps. u. Ph. d. S. 1894 S. 296 ff.

2) Vgl. J. von Kries, Abhandlungen zur Physiologie d. Gesichtsn. 1897 S. 45 ff.

ergeben von der Helligkeitsverteilung im Spektrum bei verschiedenen Intensitäten das gleiche Bild. Der einzige erheblichere Unterschied liegt in der Beständigkeit des großen Helligkeitswertes, den das Gelb nach der Nachbildmethode auch bei abnehmenden Intensitäten zeigt. Vermutlich ist der Grund hiervon in der nicht genügenden Sättigung des benutzten Papiers zu suchen. Die scheinbare Unterbrechung der Regelmäßigkeit der Versuchsergebnisse durch die Zahlen der mit Gelbgrün II bezeichneten Reihe erklärt sich ebenfalls leicht durch den Umstand, dass es sich hier um ein zu dunkles Papier gehandelt hat.

Eine Entscheidung hierüber könnte erst durch eine Wiederholung der Versuche mit spektralem Lichte gewonnen werden. Dass dies möglich ist, lässt sich mit Hilfe des König-Helmholtz'schen Farbenmischapparates leicht feststellen. Wendet man bei einem solchen das von Lummer-Brodhun angegebene Prisma an, so kann man auf dem kleinen Beobachtungsfelde des Apparates einen Streifen weißen Lichtes von beliebiger Intensität umgeben von zwei gleichen farbigen Streifen herstellen. Eine Fixation dieses Bildes zeigt deutlich, dass bei gewisser Helligkeit der mittlere graue Streifen sich aufhellt, bei größerer sich verdunkelt. Zu einer genauen Bestimmung der Helligkeit einer Spektralfarbe ist der Apparat aber nicht geeignet, weil das ganze Bild von dem Schwarz der Röhre umgeben gedacht werden muss, dessen Einfluss auf die Gesamterscheinung nicht auszuschließen ist.

7.

Über funktionelle Beziehungen beider Gehörorgane

von

Paul Rostosky.

Funktionelle Beziehungen beider Gehörorgane sind solche, die zwischen ihren Erregungen bestehen und durch sie zugleich bedingt sind. Für die Erforschung derartiger Beziehungserscheinungen steht uns neben der subjektiven Beobachtung der psychologischen Resultate aus den Beziehungsvorgängen noch die objektive Untersuchung ihrer physikalischen, anatomischen und physiologischen Bedingungen zu Gebote. Mit Hülfe dieser beiden Erfahrungsquellen finden wir — den psychophysischen Parallelismus vorausgesetzt — zunächst die Existenz eines Beziehungsvorganges gesichert, sobald wir beobachten, dass die Empfindungen, welche solche gleichzeitige bilaterale Erregungen begleiten, gewisse Abweichungen von dem ungestörten Nebeneinander derjenigen beiden Empfindungen aufweisen, welche jeder der beiden Erregungen einzeln entsprechen würden. Die hierdurch gegebenen Empfindungsmerkmale des Beziehungsvorganges sowie die objektiven Kenntnisse der Reizbedingungen gestatten uns ferner, Schlüsse zu ziehen auf die Beschaffenheit der Vorgänge, vornehmlich auf die Art der Beziehung zwischen den betreffenden Erregungen, dann auf die Natur der aus ihr resultierenden Wirkungen und auch auf das Wesen der Komponenten derselben. Endlich können wir unter Heranziehung der Erfahrungen, welche aus objektiven Untersuchungen der Aufnahmeorgane und Leitungsbahnen der Erregungen gewonnen

worden sind, eine Feststellung des Ortes dieses Beziehungsvorganges versuchen, für welchen Zweck uns die Empfindung allein höchstens relative Bestimmungen liefern kann. Die Aufgabe der folgenden Untersuchung besteht sonach in der Beantwortung der an diese drei Punkte geknüpften Fragen, betreffend Existenz, Charakter und Ort der Beziehungsvorgänge.

Im folgenden ersten Teile wollen wir zunächst versuchen, mit Hülfe einer kritischen Übersicht über das bis jetzt vorliegende, schon recht umfangreiche Erfahrungsmaterial und die Versuche zur Lösung der oben namhaft gemachten Fragen ein möglichst zusammenhängendes Bild von den in Rede stehenden Verhältnissen zu gewinnen.

I.

Die Beziehungsvorgänge als solche sind, wie wir wissen, meist sicher an den ihre Resultate begleitenden Empfindungen zu erkennen; sie von einander zu unterscheiden, ist dagegen nicht immer leicht. Dennoch können wir nicht umhin, wenigstens ähnliche Erscheinungen in Gruppen zusammenzufassen. Wir wollen dabei die bisher bei gleichzeitiger Reizung beider Gehörorgane beobachteten Besonderheiten in dem Empfindungsganzen einteilen in solche der Intensität, der Qualität, der Lokalisation und der Zusammensetzung. Je nachdem das Empfindungsganze einem Monom oder einem Polynom vergleichbar ist, werden dann diese Besonderheiten entweder die Elemente und die Klangfarbe einer einheitlichen Totalempfindung oder die Elemente und den Akkord der Teilempfindungen betreffen. Innerhalb der Hauptgruppen werden wir jedoch die auf Details der betreffenden Erscheinungen bezüglichen Erfahrungen in historischer Reihenfolge und nach ihren Beobachtern geordnet durchgehen.

A. Die Modifikationen der Intensität.

Diese können sich natürlich ebensowohl als Verstärkung wie als Schwächung darstellen und verstehen sich bei einer Totalempfindung im Verhältnis zu derjenigen Empfindungsstärke, welche der stärkeren Erregung (denn diese könnte wohl als Vertreter der Intensität des Ganzen angesehen werden), bei Teilempfindungen aber der bezüglichen Erregung unter monotischer Reizung entspricht. Je nachdem sie ferner bei konstanter Höhe und Stärke der Einzelerregungen mit ihrer Phasendifferenz periodisch wechseln oder nicht, können wir periodische und ständige Intensitätsmodifikationen unterscheiden; freilich bei gleicher Qualität der beiden Reize lässt sich dieser Unterschied erst mit Hülfe besonderer Experimente bemerkbar machen, weil dann auch die aus der Interferenz resultierende Intensitätsmodifikation keinem spontanen Wechsel unterliegt.

1. Periodische Modifikationen der Intensität.

Diese deuten mit Sicherheit auf eine Mischung und speziell auf eine Interferenz der beiderseitigen Erregungen. Da die Empfindungsmerkmale, durch welche sich die Art der Beziehung verrät, meist und besonders bei qualitativer Verschiedenheit der beiden Reize sehr deutliche sind, so sind die Interferenzerscheinungen und insonderheit die Schwebungen auch die am frühesten von allen Beziehungserscheinungen entdeckten und untersuchten.

Zuerst hat Dove[1]) (1839) eine derartige Erscheinung beobachtet; als er nämlich die eine von zwei vor ein Ohr gehaltenen

1) Dove, Nachtrag zu den Kombinationstönen. Repertorium d. Physik. Bd. 3, p. 404. 1839.

Gabeln, die nahezu gleich gestimmt waren, um den Kopf herum führte, verschwand allmählich die erst sehr deutliche Empfindung der Schwebungen beider, trat jedoch bei Annäherung der zweiten Gabel an das andere Ohr wieder auf. Diese Erscheinung weist natürlich mit Sicherheit auf ein Zusammentreffen der beiderseitigen Schallwirkungen hin; es fragt sich also nur, wo dasselbe zu stande komme. Dove erkannte die Möglichkeit einer doppelten Beantwortung dieser Frage, nämlich entweder durch die Annahme einer peripherischen Interferenz beider durch den Kopfknochen von Ohr zu Ohr geleiteten Schallwellen, oder mit Hülfe der Annahme einer centralen Vereinigung der beiden entsprechenden Nervenerregungen. Er ließ jedoch die Entscheidung zwischen beiden Erklärungsweisen dahingestellt, obwohl er die letztere für die wahrscheinlichere hielt. Die Voraussetzung, dass die Schallwellen nicht um den Kopf herum durch die Luft von einem Ohre zum anderen gelangten, hielt Dove bei seinem Versuche auf alle Fälle für erfüllt, da die Schwebungen ja schon nicht mehr vernommen wurden, wenn die zweite Gabel erst bis zur Medianebene geführt worden war.

Aber dieser Analogieschluss ist doch nicht ganz unbedenklich; denn die Verhältnisse, welche in beiden Fällen vorliegen, sind nicht genau dieselben; über Größe und Richtung der Abweichungen sind wir aber nicht genügend orientiert, um ihre Bedeutung richtig zu schätzen. Ja wir könnten mit mindestens derselben Berechtigung, mit welcher Dove annimmt, dass bei der Weiterführung der zweiten Gabel eine weitere Abnahme der von Ort und Lage derselben abhängigen Deutlichkeit der Erscheinung für das erste Ohr eintrete, das Gegenteil erwarten; denn einerseits steht fest, dass eine Schallerregung, wenn sie nur die genügende Intensität besitzt, sehr wohl um den Kopf herum von einer Seite zur andern gelangen und dort sogar eine Schallempfindung auslösen kann; andererseits erscheinen die größere

Zahl und ungefähre Gleichheit aller Wege, welche der Schall von der einen Seite zur andern zurückzulegen hat, als sehr günstige Interferenzbedingungen, wie sie bei einem anderen Standorte der Schallquelle nicht vorliegen.

Die von Dove offen gelassene Frage nach dem Interferenzort suchte Seebeck[2]) (1846) durch folgendes Experiment mit einer Doppelsirene — zwei gleiche, in ca. 1 Fuß Abstand auf einer gemeinsamen Achse befestigte Löcherscheiben, zwischen welche der Kopf gebracht wurde — zu entscheiden, wobei durch die unisonen Töne zugleich die Phasendifferenz, von welcher die Interferenzerscheinung ja abhängig ist, und die im Dove'schen Versuche periodisch wechselte, konstant erhalten wurde. Für den Fall der von Dove bevorzugten Erklärung der Erscheinung durch eine »Sympathie der beiden Gehörsnerven«, wo sich entweder die objektiv entgegengerichteten oder die objektiv gleichgerichteten Schwingungen der Trommelfelle vertreten sollten, glaubte Seebeck dementsprechend bei gleichzeitigen Schalleindrücken entweder eine Verstärkung oder eine Aufhebung des Tones, bei alternierenden aber nicht etwa das Umgekehrte, sondern infolge der eigentümlichen Wellenform der verwendeten Reize entweder die Oktave oder eine Verstärkung mit Klangveränderung des Tones erwarten zu müssen. Es trat aber von alledem nichts ein, sondern der Ton wurde immer verstärkt gehört, wenn auch nicht in beiden Fällen gleich stark. Seebeck kommt hiernach zu dem Schlusse, dass von einer Sympathie der beiden Gehörsnerven nicht die Rede sein könne. — Die hier sicher vorhandene Luftüberleitung jedes Tones zum gegenüberliegenden Ohre kann natürlich den Wert dieses Versuches für die vorliegende Frage durchaus nicht

2) Seebeck, Beiträge zur Psychologie des Gehör- und Gesichtssinnes. Abschn. A. Pogg. Ann. Bd. 68, p. 449. 1846.

beeinträchtigen, indem hier, wo es sich nur um die Phasendifferenzen 0 und $^1/_2\,\lambda$ handelt, jede durch diese Luftüberleitung herbeigeführte Veränderung stets beide Erregungen in demselben Maße betreffen muss. — Die obigen resultierenden Erscheinungen nun erklärt Seebeck aus einer doppelten peripherischen Interferenz, welche zum Teil durch die Luftüberleitung zu stande kommt, zum Teil auch, wie die binauralen Schwebungen bei schwachen Stimmgabeltönen beweisen, wo die Luftüberleitung als ausgeschlossen betrachtet werden könne, auf Kopfknochenleitung zurückgeführt werden muss. — Dass bei diesen Interferenzen nicht dieselben Erscheinungen, welche Seebeck für den Fall einer centralen Mischung erwartet hatte, eintraten, erklärt sich nach den schon früher[3]) (1843) von demselben Autor gewonnenen Erfahrungen teils aus der Ungleichheit der Intensitäten der interferierenden Erregungen, teils aus der von dem Gangunterschiede herrührenden Phasendifferenz derselben. Erstere könnte auch schon allein zur Erklärung der Erscheinungen genügen; denn die bei alternierenden Reizen auftretende Oktave würde, da sie ja nur die Intensität der schwächeren Komponente haben kann, neben dem Grundtone kaum gehört werden. — Die Phasenverschiebung kann auch in der That bei der Kürze des Weges von Ohr zu Ohr und bei der relativ großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Kopfknochensubstanz, wie Seebeck meint, keine sehr beträchtliche sein, da sonst die Abweichung vom Synchronismus der beiderseitigen Schwebungen bemerkbar sein müsste. An Stärke fand er übrigens die diotischen Schwebungen nur solchen monotischen vergleichbar, welche bei beträchtlich verschiedener Intensität der Primärtöne vernommen werden.

So scharfsinnig nun aber dieser Autor (vergl. auch seine

3) Seebeck, Über die Sirene. Pogg. Ann. Bd. 60, p. 449. 1843.

Bemerkungen[4]) 1849) die vorliegende Frage behandelt hat, so ruht doch der obige Beweis gegen die etwaige Sympathie der beiden Gehörnerven auf Voraussetzungen, durch deren Abweisung die Verhältnisse sich wesentlich anders gestalten. Zunächst überträgt er offenbar seine Theorie der Tonerzeugung[5]) (1841), nach welcher schon eine mehr oder minder regelmäßige Reihe von Impulsen von ganz beliebiger Form zur Erregung des peripherischen Gehörorganes genügt, auch auf die anschließenden nervösen Vorgänge, sonst könnte er unmöglich bei alternierender Reizung beider Gehörorgane mit dem Grundtone eine Klangveränderung oder die Oktave desselben erwarten. Dies könnte höchstens noch dann gerechtfertigt erscheinen, wenn die interferierenden Erregungen nicht erst durch Vermittelung der elastischen Gebilde in der Schnecke, sondern direkt auf den Nerven übertragen würden. Jene dagegen werden wohl jede isochrone Reihe von Impulsen in pendelartige Schwingungen umwandeln. Dann aber lässt sich, wie die Verhältnisse auch liegen mögen, in den obigen Versuchen keinesfalls etwas anderes erwarten als Verstärkung oder Aufhebung des Grundtones. Aber auch dieses Resultat verlangt noch, dass beide Erregungen in ihrer Totalstärke zusammentreffen, eine Voraussetzung, welche durch nichts garantiert ist. Lassen wir auch diese fallen, so kann aus der centralen Mischung nur noch eine mäßige Verstärkung oder Abnahme der Tonintensität resultieren, ist also von einer peripherischen nicht mehr zu unterscheiden. Denn was die von Seebeck außerdem beobachtete ständige, wenn auch verschiedene, Verstärkung bei gleichzeitigen

---

4) Seebeck, Akustik. Abschn. H. Gehör. Teil IV. Kombination des rechten und linken Gehöreindrucks. Repertorium d. Physik. Bd. 8, p. 107. 1849.

5) Seebeck, Beobachtungen über einige Bedingungen der Entstehung von Tönen. Pogg. Ann. Bd. 53, p. 417. 1841.

und bei alternierenden Schalleindrücken betrifft (überhaupt eine vielumstrittene Erscheinung, von der unten weiter die Rede sein wird), so lässt sich dieselbe gar nicht auf Interferenz zurückführen und sonach auch nicht für eine peripherische noch besonders geltend machen. Dass übrigens die Luftüberleitung bei schwachen Tönen ausgeschlossen sei, bedarf doch auch erst des Nachweises, zumal wenn daraus auf die Existenz der Kopfknochenleitung geschlossen werden soll.

Gegen die Seebeck'sche Erklärung der fraglichen Erscheinung wurde jedoch zunächst kein Einwand erhoben, obwohl derselbe Gegenstand mehrfach, besonders von Ohrenärzten, behandelt wurde.

Die Neigung Dove's zur entgegengesetzten Erklärung der vorliegenden Erscheinung wurde durch seine[6]) 1859 gemachte Beobachtung, dass Differenztöne bei verteilten Gabeln nicht auftreten, wohl noch mehr bestärkt.

Dagegen schließt sich auch Fechner[7]) (1860) der Seebeck'schen Erklärung an und bestätigt durch verschiedene Versuche dessen Beobachtung bezüglich der Deutlichkeit der diotischen Schwebungen: er findet bei letzteren z. B. die Totalstärke des gehörten Tones größer, die Deutlichkeit seiner Stärkeschwankungen aber geringer, als wenn eine der Gabeln oder gar beide auf den Kopf gesetzt werden.

Erst Mach[8]) (1864) unternimmt eine Kritik des Seebeck'-

---

6) Dove, Beweis, dass die Tartini'schen Töne nicht subjektiv, sondern objektiv sind. Pogg. Ann. Bd. 107, p. 653. 1859.

7) Fechner, Über einige Verhältnisse des binokulären Sehens. Abschn. 18. Abhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss. 1860, p. 541.

8) Mach, Über einige der physiologischen Akustik angehörige Erscheinungen. Abschn. 6. Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. math. naturwiss. Kl. Bd. 50, Abt. 2, p. 342. 1864.

schen Experimentes, wobei er behauptet, dass, wenn es beweisend wäre, der negative Ausfall desselben ja zugleich gegen die Durchleitung der Töne von Ohr zu Ohr spräche; zudem sei die Methode Seebeck's schon deshalb unbrauchbar, weil man die Sirenen kreuzweise hinüberhöre; endlich könne das Experiment überhaupt gar nicht zwischen Sympathie und Durchleitung entscheiden, da es nur die Bedingungen der zu untersuchenden Erscheinung künstlich nachahme.

Dem gegenüber möchte ich zunächst bemerken, dass bei dem genannten Versuche freilich nicht die erwarteten, aber doch besondere Erscheinungen, welche auf Interferenz beider Töne deuteten, aufgetreten sind. Die Luftüberleitung aber würde nur dann stören, wenn infolge derselben gleiche Erscheinungen, wie die für den Fall einer Sympathie der Hörnerven erwarteten, eintreten könnten, oder wenn das Experiment zugleich die Kopfknochenleitung nachweisen sollte, was ja beides nicht der Fall ist. Endlich verliert die durch den Seebeck'schen Versuch herbeigeführte Entscheidung nur ihren Wert, weil die Voraussetzung des auf sie gestützten Schlusses hinfällig wird; denn die Erwartungen bezüglich der Empfindungsmerkmale einer eventuellen Sympathie beider Hörnerven sind, wie ich oben zu zeigen versuchte, unberechtigt.

»Die Annahme der Durchleitung«, sagt nun aber Mach, »die sich überhaupt durch ihre Einfachheit empfiehlt, ist auch theoretisch wahrscheinlich. Der Gehörapparat ist vorzüglich geeignet, Schall auf die Kopfknochen zu übertragen. — Die Annahme der Sympathie ist für mich höchst unwahrscheinlich. Jede Gabel löst in jedem Ohr so zu sagen einen kontinuierlichen Empfindungsstrom aus, der gar nichts mehr von Vibration an sich hat. Wie kommen diese Empfindungsströme dazu, sich wie Schallwellen zu verhalten?« Mach sucht nun die Annahme der Durchleitung der Töne von Ohr zu Ohr, die einzige

Erklärung, welche noch möglich ist, da man doch die Gabeln nicht durch die Luft von einem Ohre zum anderen hinüberhöre, durch folgendes Experiment direkt zu beweisen, welches sich darauf stützt, dass die Schwingungen vom Kopfknochen aus, gleichviel durch welche Mittelglieder, wirklich auf die Luft des Gehörganges übertragen werden, wie dies aus früher (1863) angestellten Versuchen erhellt. Er brachte nämlich vor das eine Ohr eines Beobachters eine tönende Stimmgabel, während er das andere mit dem Ohre eines zweiten Beobachters durch ein Röhrchen verband. Zwar ist er selbst als zweiter Beobachter nicht im stande gewesen, den Ton aus dem Ohre des ersten zu hören, er bemerkt jedoch, dass andere besser hörende Beobachter ihn vernommen und richtig angegeben hätten.

Darin kann ich nun aber Mach nicht ohne weiteres beistimmen, dass der »Empfindungsstrom« wirklich kontinuierlich sei und nichts von Vibration an sich habe; denn damit wäre ja unsere Frage von vornherein entschieden, und jede Untersuchung überflüssig. Dass man ferner einen Ton durch die Luft nicht von einem Ohre zum anderen hinüberhöre, scheint mir allerdings kein geeignetes Kriterium gegen die Entstehung der Schwebungen durch Luftüberleitung jedes Tones zu sein; denn es ist doch sehr wohl denkbar, dass ein für sich allein unhörbarer Ton unter gewissen Umständen mit einem anderen merkliche Schwebungen gebe. Gegen das obige Experiment aber lässt sich, wenn genügend für Ausschluss der direkten Luftüberleitung des Tones zum zweiten Reagenten gesorgt ist, höchstens einwenden, dass der positive Ausfall desselben, der ja nur bei ziemlich lauten Tönen möglich ist, hier vielleicht auf Rechnung besonders günstiger Umstände zu setzen sei, wie sie nicht einmal verhältnismäßig bei leisen Tönen vorliegen. Dieser Einwand, wie überhaupt die gegenteilige Erklärung der in Rede stehenden Erscheinung, erhält aber durch einen

negativen Ausfall des Experimentes bei leisen Tönen auch noch keineswegs eine Stütze. Denn erstlich muss anerkannt werden, dass letzteres die Wahrnehmung des Tones schon durch dessen längere Leitung erschwert gegenüber denjenigen Bedingungen, unter welchen dieselbe nachgewiesen werden soll; und dann ist zu bedenken, dass die übergeleitete Erregung, um Schwebungen verursachen zu können, ja gar nicht einmal für sich wahrnehmbar zu sein braucht.

Ein Urteil über die Stärke der diotischen Schwebungen erhielt Mach durch einen dem Seebeck'schen ähnlichen Versuch, bei welchem jedoch die Luftüberleitung jedes einerseits zugeleiteten Tones zum anderen Ohre auch nicht ausgeschlossen war: »Eine Röhre, vor deren Mündung eine Stimmgabel schwingt, läuft in drei Zweige *a*, *b*, *c* aus, deren Längen beziehungsweise λ, $\frac{\lambda}{2}$, λ sind, wobei λ die Wellenlänge der Stimmgabel ist. Die Röhren *a*, *b* laufen in eine Mündung zusammen und führen zum linken Ohr, die Röhre *c* geht zum rechten. Jede der Gummiröhren kann zugedrückt werden.« Hört man durch *a*, *b*, so hebt sich der Schall fast ganz auf. Bei der Kombination *a*, *b*, *c* ist der Schall schwächer als bei *a*, *c* oder *b*, *c*. Nimmt man abwechselnd *a*, *c* und *b*, *c*, so hat man den Eindruck der Schwebungen, zwar nicht so deutlich, wie ihn zwei vor die Ohren verteilte Gabeln hervorbringen, aber doch merklich. Das geringe Hervortreten der Schwebungen in diesem Versuche schreibt Mach dem Umstande zu, dass die Unterscheidung durch die Pause, welche beim abwechselnden Zudrücken von *a* und *b* entsteht, erschwert werde. Dasselbe Resultat wurde erhalten, wenn durch eine Röhrenvorrichtung der Ton abwechselnd in gleichen und entgegengesetzten Phasen von den verschiedenen Zinkenseiten einer und derselben Gabel aufgenommen wurde.

Docq[9]) (1870) hat eigentümlicher Weise bei verteilten Gabeln keine Schwebungen wahrnehmen können.

Den Schwebungsversuch stellte Mach[10]) (1874) in der Weise an, dass er von jedem Ohre nach rechts und links Kautschukschläuche führte und vor deren Öffnungen je eine von zwei nahezu gleich gestimmten Gabeln brachte. Bezüglich des Gangunterschiedes, der sich infolge der Durchleitung für die interferierenden Töne ergeben sollte, ist er der Meinung, dass derselbe erst bei höheren Tönen in Betracht kommen könne. Beim diotischen Hören eines Klanges soll dann daraus je nach der Richtung, aus welcher er kommt, (infolge einer beiderseits verschiedenen Intensitätsmodifikation der höheren Partialtöne desselben) eine Verschiedenheit in der Klangfarbe für beide Ohren resultieren.

Auch Terquem und Boussinesq[11]) (1875) bemerkten, als sie Gabeln mit verschiedenen Intervallen (bis zu einer kleinen Terz = 25 Schwebungen p. S.) vor die Ohren verteilten, weder einen Kombinationston noch Schwebungen, sondern hatten nur ein Gefühl der Dissonanz. Sie schlossen daraus auf gänzliche Unabhängigkeit der Empfindungen beider Ohren.

Im Jahre 1877 wurde die Dove'sche Erscheinung auch von S. P. Thompson[12]) beobachtet und einer genaueren Untersuchung unterzogen, deren Resultate in verschiedenen Arbeiten

---

9) Docq, Recherches physico-physiologiques sur la fonction collective des deux Organes de l'Appareil auditif. Mém. cour. de l'Acad. de Belgique. T. 34. 1870.

10) Mach, Bemerkungen über die Funktion der Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilk. Bd 9, p. 72. 1874.

11) Terquem et Boussinesq, Recherches sur la théorie des battements. Journ. de Phys. d'Almeida. T. 4, p. 193. 1875. (n. R.).

12) S. P. Thompson, On Binaural Audition. Philosophical Magazine. vol. 4, part. 2, p. 274. 1877.

mitgeteilt sind. Zunächst bediente er sich zur Vermeidung der Tonüberleitung von Ohr zu Ohr durch die umgebende Luft einer Versuchseinrichtung, welche der zuletzt erwähnten Einrichtung Mach's ähnlich war: zwei Gummischläuche führten von den beiden Ohren des Reagenten aus in zwei verschiedene Zimmer hinüber, wo sie in Resonanzkästen mündeten; vor letztere wurden entsprechende Gabeln (246 und 256 Schw.) gehalten. Die Schwebungen derselben wurden nun, selbst wenn die Gabeln so leise tönten, dass sie einzeln gar nicht hörbar waren, doch sehr deutlich vernommen. Auch bei größeren Tondistanzen waren die Schwebungen, welche übrigens beim diotischen Hören dieselbe Frequenz haben wie beim monotischen, noch sehr deutlich und zudem auffallend rauh. Die Incisionen, welche Thompson bei ca. zwei Schwebungen p. S. beobachtete, waren jedoch im ersten Falle nicht so stark wie im letzten. Es wurde immer von dem Momente an, wo die Phasen der beiden Töne gerade entgegengesetzt waren, nur eine leichte Zunahme der Intensität des Tones bemerkt. Bezüglich der Erklärung dieser Erscheinung ist Thompson einigermaßen in Verlegenheit. Die etwaige Überleitung der Schallwellen von Ohr zu Ohr, sei es durch die Eustachischen Röhren, sei es durch den Kopfknochen, hält er für ausgeschlossen, weil beim diotischen Hören unter Anwendung obiger Versuchseinrichtung Differenztöne nie wahrgenommen worden waren. Da außerdem keine Kreuzung der Hörnerven vorliege, wie sie die Sehnerven erfahren, so meint er, müsse die lokale Bedingung für jene Beziehung der beiden Erregungen wohl central im Apperceptionsorgan gesucht werden. Aus der centralen Mischung beider Erregungen glaubt er auch die Rauhigkeit aller Intervalle, überhaupt die eigentümliche Diskontinuität der Empfindung, welche er beim diotischen Hören beobachtet hat, verstehen zu können, welche eben deshalb auftreten soll, weil keine Mischung der Töne möglich ist vor ihrer

Einwirkung auf den „sensitive mechanism of the nerve-structures“.

Die Versuchsanordnung Thompson's, die, was die isolierte Zuleitung der beiden Töne betrifft, jedenfalls vorzüglich ist, hat vielleicht doch aber das Bedenkliche, dass die Kautschukröhren direkt mit den Resonatoren verbunden sind; denn hierdurch könnten die auf ihre Masse übertragenen Schwingungen der letzteren die Reinheit der Versuchsresultate beeinträchtigen. Was ferner die Abweisung der peripherischen Interferenz beider Töne betrifft, so erscheint dieselbe durch die Bemerkung, dass diotisch keine Kombinationstöne vernommen wurden, doch zu wenig gerechtfertigt; denn dieselbe setzt zunächst voraus, dass Kombinationstöne auch bei Zuleitung der Primärtöne durch den Kopfknochen (von der Luftleitung durch die Eustachischen Röhren kann jedenfalls abgesehen werden, da dieselbe, wenigstens in normalen Fällen, nie beobachtet worden ist) entstehen können, was nicht unbestritten geblieben ist*); und müssen denn die von dem Intensitätsverhältnis der interferierenden Töne abhängigen Bedingungen der Wahrnehmung notwendig für Schwebungen und Differenztöne dieselben sein? Sie sind ja schon

*) Preyer[13]) (1891) beobachtete, dass der Kombinationston selbst bei den lautesten Pfeifen nicht durch Kopfknochenleitung zur Perception komme, wie dessen Primärtöne. Dagegen bemerken allerdings Schaefer[14]) (1890) und Scripture[15]) (1892) einstimmig, dass ein Differenzton entstehe, mag man die betreffenden Gabeln beide auf den Kopf setzen oder eine derselben vor ein Ohr halten. — Sollte der negative Ausfall bei Preyer nicht auf die durch den Ohrverschluss verminderte Schallzuleitung der Töne zurückzuführen sein?

13) Preyer, Über Kombinationstöne. Wied. Ann. Bd. 38, p. 131. 1891.
14) Schaefer, Über Wahrnehmung und Lokalisation von Schwebungen und Differenztönen. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 1, p. 81. 1890.
15) Scripture, Einige Beobachtungen über Schwebungen und Differenztöne. Philos. Stud. Bd. 7, p. 630. 1892.

für verschiedene Schwebungsfrequenzen verschieden. Die Annahme der centralen Beziehung beider Erregungen erhält endlich durch die Diskontinuität der Empfindung wohl kaum eine Stütze; auch liegen von anderen Seiten keine Beobachtungen über die Rauhigkeit vor.

Verschiedene weitere Ergebnisse seiner Untersuchungen teilt S. P. Thompson[16]) 1878 mit, doch betreffen dieselben fast ausschließlich die eigentümlichen Lokalisationserscheinungen bei diotischen Wahrnehmungen, auf welche wir erst später eingehen werden. Bezüglich der oben gegebenen Erklärung der Interferenzerscheinungen scheint Thompson, da sich keine Bestätigung derselben durch weitere Experimente gefunden hat, etwas schwankend geworden zu sein. Auch den dort so betonten dissonanten Charakter und die Rauhigkeit selbst konsonanter Intervalle ist er hier geneigt, auf die bloße Abwesenheit der Differenztöne zurückzuführen. Auch Summationstöne konnten bei Verteilung der entsprechenden Gabeln vor die Ohren nie gehört werden.

Bezüglich der Interferenzerscheinungen hat S. P. Thompson[17]) (1881) noch einiges Weitere veröffentlicht. Den bisher besprochenen, welche er nicht für subjektiv erachtet, stellt er nämlich noch eine neue Art an die Seite: die durch Gummischläuche getrennt zu den beiden Ohren geleiteten nahezu unisonen Töne zweier Orgelpfeifen, und zwar ein sehr lauter Ton einerseits und ein schwacher andererseits lösten einander momentan ab; trotzdem wurden noch $1^1/_2$ sec. hindurch Schwebungen gehört, welche nur durch Interferenz der abklingenden

16) S. P. Thompson, Phenomena of Binaural Audition. Philosophical Magazine. vol. 6, part. 2, p. 383. 1878.

17) S. P. Thompson, Phenomena of Binaural Audition. Philosophical Magazine. vol. 12, part. 2, p. 351. 1881.

akustischen Empfindung des ersten Tones mit dem zweiten entstehen konnten. Natürlich ergab sich dasselbe Phänomen erst recht bei Zuleitung beider Töne zu demselben Ohr. Eine Bestätigung dieser Erscheinung erblickt Thompson in der folgenden Erfahrung: eine an Diplakusis binauralis mit Halbtondifferenz beider Ohren leidende Person hörte jeden Ton in dem tieferen Teile der Skala schwebend. Thompson bezeichnet diese Erscheinungen als Interferenzen zwischen objektiven und subjektiven Tönen. — Interessant ist, dass Dvořák[18]) (1876) monotisch bei Interferenz abklingender akustischer Empfindungen mit objektiven Tönen unter ganz ähnlichen Bedingungen wie Thompson auch Differenztöne von ca. 1 sec. Dauer erzielt hat. Eine eigentümliche Beobachtung hat ferner Preyer[19]) (1876) gemacht, dass nämlich „noch am folgenden Tage die Schwebungen, namentlich hoher Töne, entotisch wiederkehrten, wenn die Umgebung sehr ruhig wurde". Mit dieser Beobachtung lässt sich freilich die Mitteilung von Urbantschitsch[20]) (1881), dass bei Nachbildern zweier disharmonischer Töne nicht jene schwirrenden Geräusche (doch wohl Schwebungen!) auftreten, die bei objektiven Tönen bestehen, kaum in Einklang bringen. Ein Widerspruch gegen die obige Thompson'sche Beobachtung liegt aber darin jedenfalls nicht, da Urbantschitsch selbst die Nachbilder von den abklingenden akustischen Empfindungen streng scheidet.

Was dagegen den oben besprochenen pathologischen Fall betrifft, so steht derselbe oder vielmehr die dabei gemachte Beobachtung einzig da.

---

18) Dvořák, Über eine neue Art von Variationstönen (Schleiftöne). Pogg. Ann. Bd. 154, p. 611. 1876.

19) Preyer, Über die Grenzen der Tonwahrnehmung. p. 72. 1876.

20) Urbantschitsch, Zur Lehre von der Schallempfindung. Pflüg. Arch. Bd. 24, p. 574. 1881.

Fechner[21]) (1883) ist geneigt, die von Tarchanow und Preyer beobachtete Verstärkung beim diotischen Hören, die uns unten noch weiter beschäftigen wird, auf eine doppelseitige Interferenz der je durch den Kopfknochen von Ohr zu Ohr geleiteten Erregungen zurückzuführen. Besonders entkräftet er den auf die Thatsache, dass eine schwach tönende Gabel, vor das eine verschlossene Ohr gehalten, im anderen nicht gehört wird, gestützten Beweis gegen die Kopfknochenleitung, indem er einerseits die Möglichkeit darthut, dass eine Schallerregung auch sehr wohl von den schwingenden Teilen des Gehörorgans auf den Kopfknochen übertragen werden könne, und andererseits erkennt, es brauche »der Schall, der auf irgend welchem Wege durch die Kopfknochen von einem Ohr zum anderen gelangt, nicht für sich hörbar zu sein, nicht selbst die Schwelle zu übersteigen, wenn er nur reicht, einem wenig unter der Schwelle befindlichen Schall einen zur Übersteigung der Schwelle hinreichenden Zuwachs zu erteilen.«

Wenn Fechner aber umgekehrt die Schwäche der diotischen Schwebungen als einen Beweis gegen die centrale Interferenz in Anspruch nehmen möchte, so könnte ich dies höchstens dann gerechtfertigt finden, wenn es feststände, dass diese Interferenz die beiderseitigen Erregungen in ihrer Totalintensität betreffen müsste.

Stumpf[22]) stellt in seiner Tonpsychologie eine Reihe von Bestimmungsmomenten der diotischen Interferenzerscheinungen zusammen. Er bestätigt zunächst (II. 208, 458 und 470) die Schwäche der diotischen Schwebungen gegenüber den monotischen trotz gleicher Empfindungsstärke der beiden interferierenden Töne. Dann bemerkt er (II. 320 und 471), dass die

21) Preyer, Wissenschaftliche Briefe von Gustav Theodor Fechner und W. Preyer. p. 163, (Brief Fechner's vom 4. Jan. 1883). 1890.

22) Stumpf, Tonpsychologie. Bd. I. 1883. Bd. II. 1890.

Schwebungen, wenigstens die schnelleren, meist erst einige Zeit nach dem Anschlagen der Gabeln wahrgenommen werden, und dass sie deshalb bei schwächerem Anschlag derselben leicht überhaupt unbemerkt bleiben. Interessant ist ferner die Beobachtung, dass die Schwebungen mit abnehmender Tonstärke bis zum Verschwinden der Töne immer deutlicher werden, wenn nicht sogar relativ stärker. Als Grenzen ihrer Schnelligkeit fand er (II. 470 f.) in der großen Oktave 16—20 Schwebungen p. S., in der kleinen 32—40, in der eingestrichenen ca. 50 und in der zweigestrichenen ca. 70, während die Schwebungen schon in der dreigestrichenen Oktave in allen Fällen undeutlich und schwer vernehmbar sein sollen, — also ein ganz beträchtlicher Unterschied gegenüber den II. 461 f. angegebenen Schnelligkeitsgrenzen bei monotischen Schwebungen. Von besonderer Wichtigkeit ist die II. 459 besprochene Erfahrung, dass bei einem Höhenunterschiede bezüglich des Hörens beider Ohren, wie er ja nach Fessel[23]) (1860) in abgeschwächtem Maße fast bei allen Menschen bestehen soll, die Zahl der Schwebungen zweier Gabeln, man mag dieselben vor die Ohren verteilen, wie man wolle, stets dieselbe bleibt wie beim monotischen Hören der betreffenden Töne. Hieraus folgt, dass beim diotischen Hören eines Tones trotz eines Höhenunterschiedes beider Ohren niemals Schwebungen gehört werden können, eine Folgerung, welche durch keine der bisherigen Beobachtungen (ausgenommen den obigen Thompson'schen Fall) negiert wird. Ja Stumpf hat bei einem an sich selbst erlebten Falle von Diplakusis (Höhenunterschied beider Ohren bei a¹ ca. $^3/_4$ Ton), obwohl er ganz besonders die Aufmerksamkeit darauf richtete, keine Spur von Schwebungen wahrnehmen können, wie er II. 460 f. berichtet. Auch bemerkt er (II. 208), dass dieselben bei der

---

23) Fessel, Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für Höhe und Tiefe der musikalischen Töne. Pogg. Ann. Bd. 111, p. 189. 1860.

bloßen Vorstellung der Töne in der Phantasie wegfallen (!). Gestützt auf diese Beobachtungen und die oben angeführte Mitteilung von Urbantschitsch, dass die Nachbilder schwebender Töne keine Schwebungen erkennen lassen, kommt Stumpf (II. 485) zu dem Schlusse, dass es sich bei den diotischen Schwebungen nicht um Interferenz oscillierender Nervenerregungen handle, sondern dass dieselben durch Leitung jedes Tons von Ohr zu Ohr durch die Kopfknochen entstehen müssen.

Um diesen Schluss zu rechtfertigen, reichen aber meines Erachtens die mitgeteilten Erfahrungen nicht aus: auf die Schwäche der diotischen Schwebungen, bezüglich welcher dies schon unter Fechner betont wurde, lassen sich aller Wahrscheinlichkeit nach auch die meisten der weiter angegebenen Erscheinungen, insonderheit die engen Schnelligkeitsgrenzen derselben zurückzuführen; — ferner kann die Stütze, welche diese Annahme in den bei Diplakusis gemachten Beobachtungen findet, noch kaum eine genügende genannt werden; die meisten Fälle sind nämlich hierfür unverwertbar, sei es dass die Verstimmung zu bedeutend, oder die Hörfähigkeit beider Ohren zu verschieden, oder endlich die Empfindung des verstimmten, kranken Ohres zu unrein ist, um die Erscheinungen noch deutlich hervortreten zu lassen; auch bestimmen diese ja den Ort der Interferenz höchstens insofern, als derselbe hiernach nicht centripetal von demjenigen, wo die Verstimmung erfolgt, liegen kann; — der von Urbantschitsch mitgeteilten Beobachtung endlich steht diejenige Preyer's gegenüber.

Ferner meint Stumpf, dass die durch die Kopfknochenleitung vermittelte Interferenz, wenn die beiderseitigen Tonreize qualitativ gleich und nicht zu schwach sind (II. 432), oder wenn sie bezüglich ihrer Qualität so wenig verschieden sind, dass sie nicht einmal monotisch als verschieden erkannt werden (II. 327), eine Verstärkung der Tonempfindung hervorrufen könne.

Dass bei sehr schwachen Tönen eine Verstärkung durch Interferenz nicht möglich sei, scheint mir aber der oben mitgeteilten Erfahrung, dass die Schwebungen ausklingender Töne erst mit diesen selbst verschwinden, zu widersprechen. Wie ferner die monotische Schwelle der qualitativen Unterscheidungsfähigkeit gleichzeitiger Töne dazu kommen soll, hier die Grenze für die Verstärkung durch Interferenz zu bestimmen, ist mir unverständlich; bei qualitativ noch so wenig verschiedenen Tönen müssen aus der letzteren doch immer Schwebungen hervorgehen.

Über den vorliegenden Gegenstand erfahren wir Weiteres durch verschiedene Untersuchungen von Schaefer. Zunächst konstatierte er[14]) (1890), dass die Schwebungen diotisch noch bei einer größeren Intensitätsdifferenz der Primärtöne gehört werden können als monotisch, was er daraus erklärt, dass im letzteren Falle das Ohr durch den lauteren Ton physiologisch taub für den schwächeren werde. Interessant ist auch der Nachweis diotischer Schwebungen zwischen einem Differenztone einerseits und einem objektiven Tone andererseits. Brachte er nämlich zwei Gabeln von 2000 und 1500 Schw. vor das eine Ohr und eine Gabel von 512 Schw. vor das andere, so hörte er in letzterem die entsprechenden 12 Schwebungen p. S.

Eine neue Ortsbestimmung für die Interferenz lässt sich aber aus diesem letzteren Versuche nicht ableiten; denn der Kombinationston mag entstehen, wo er wolle, eine peripherische Interferenz bleibt immer auch möglich, zwar nicht durch Überleitung des Kombinationstones selbst, sondern durch eine solche der Primärtöne, die hier sogar im wesentlichen eine äußere sein könnte. Eine Reihe weiterer Versuche in dieser Arbeit betrifft vorwiegend Eigentümlichkeiten der Lokalisation diotischer Schwebungen, kann also bezüglich der Natur der letzteren höchstens durch Vermittelung jener etwas Neues erkennen

helfen. Diese Versuche werden deshalb besser an anderer Stelle behandelt.

In einer zweiten Arbeit, die ebenfalls besonders den diotischen Lokalisationserscheinungen gewidmet ist, bemerkt Schaefer[24]) (1890), dass bei größeren Intervallen der verteilten Gabeln die Schwebungen jederseits die Tonhöhe der dort befindlichen Gabel haben.

Ob diese Erscheinung als eine den diotischen Schwebungen eigentümliche anzusehen ist, kann, da hier ein blos monotisches Hören jedes Tones kaum anzunehmen ist, nicht entschieden werden.

Aus einer anderen Arbeit desselben Autors[25]) (1891) können wir folgende hierher gehörige Bemerkungen herausheben: die diotischen Schwebungen, obwohl noch bei sehr geringer Intensität der Primärtöne hörbar, verschwinden doch eher als die Tonwahrnehmung überhaupt. Schaefer vermutet jedoch hierin noch besondere graduelle Unterschiede bei verschiedenen Tondistanzen. Bis zu diesem Punkte des Verschwindens der Schwebungen, meint er, funktioniere auch die Kopfknochenleitung, eine Behauptung, die er durch folgendes Experiment zu stützen sucht: der Ton einer ganz leise angeschlagenen Stimmgabel, welchen der in einiger Entfernung sitzende Beobachter nur hörte, sobald er einen entsprechenden Resonator an eines der Ohren brachte, wurde bei Verschluss des anderen verstärkt vernommen, während zugleich der Tonort sich ein wenig von dem offenen Ohre nach der Medianebene des Kopfes zu bewegte. Ein solches Wandern der Lokalisation ist aber nach anderen Beobachtungen nur möglich, wenn bei gleichzeitiger Reizung beider Gehörorgane eine Änderung im Intensitätsverhältnis

24) Schaefer, Zur interauralen Lokalisation diotischer Wahrnehmungen. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 1, p. 300. 1890.

25) Schaefer, Ein Versuch über die intrakranielle Leitung leisester Töne von Ohr zu Ohr. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 2, p. 111. 1891.

beider Erregungen eintritt. Dies vorausgesetzt muss also im vorliegenden Versuche auch in dem nicht direkt gereizten Ohre eine Erregung bestehen, welche durch dessen Verschluss infolge von Reflexion (nach Mach) verstärkt und über die Empfindungsschwelle gehoben wird. Die Erregung erfolgt also hier jedenfalls wie beim Weber'schen Versuche vom Kopfknochen aus.

Gegen diese Beweisführung ist, soweit sie nur die Kopfknochenleitung im allgemeinen betrifft, wohl kaum etwas einzuwenden, man müsste denn die Versuchsanordnung angreifen, oder zur Annahme von Täuschungen seine Zuflucht nehmen. Eine solche bezüglich der Lokalisation wäre auch vielleicht nicht ganz undenkbar, wenn sich die Verstärkung als eine monotische darstellen ließe, etwa entstanden durch ein mit der Verstopfung des einen Ohres gleichzeitiges stärkeres Andrücken des Resonators im anderen Ohre. Ein Wandern der Lokalisation wäre hierdurch vielleicht auch erklärbar, freilich kein solches vom Ohre nach der Medianebene zu. Ein schwererer wiegender Einwand ist aber der, dass der an das eine Ohr gebrachte Resonator seine Schwingungen leicht direkt auf den Kopfknochen übertragen konnte und so im Grunde nicht anders wirkte als eine auf den Kopf gesetzte Stimmgabel. Der viel weniger deutliche Ausfall des Versuches, wenn der Gabelton durch einen Gummischlauch zu dem einen Ohre geleitet wurde, kann die Berechtigung dieses Einwandes nur erhöhen*). Sei

*) Einem solchen Einwande sucht zwar Schaefer später (1895) durch den Hinweis darauf, dass die Schwingungen der Wände des Resonators, wie die Berechnung lehre, durchaus verschieden von denen der eingeschlossenen Luftmasse seien, zu begegnen. Folgender Versuch entscheidet jedoch gegen Schaefer: Nach Verschluss beider Ohren hielt ich eine stark angeschlagene Gabel nahe vor eines derselben, während in einiger Entfernung eine zweite mit Resonator verbundene Gabel tönte, die gegen die erste wenig verstimmt war. Die Schwebungen beider konnte ich nur deutlich hören, wenn ich einen der zweiten Gabel entsprechenden Resonator mit einem Ansatzstücke gegen den Kopf drückte.

nun aber auch die Beweiskraft dieses Versuches für die Kopfknochenleitung im allgemeinen zugestanden, ob dieselbe für den vorliegenden Fall ausreicht, ist doch noch eine andere Frage; denn bei den Schwebungen entbehrt die übergeleitete Erregung der bedeutenden Verstärkung, welche sie in diesem Versuche durch das Verschließen des Ohres erfährt. Dass sie trotzdem und sogar noch bei geringerer Stärke der Töne, wenn auch nur zur Bildung von Schwebungen, genüge, ist daher auf diese Art nicht zu beweisen. Es muss übrigens noch bemerkt werden, dass die Beobachtung Schaefer's, dass die Schwebungen eher als die Tonwahrnehmung überhaupt verschwinden, im Widerspruch steht mit der betreffenden Erfahrung Stumpf's (pag. 189). Nach jener Schaefer's könnte natürlich von einer Konstanz des Stärkeverhältnisses der zur Interferenz gelangenden Erregungen nicht die Rede sein; vielmehr wäre die Erscheinung der Deutlichkeitsabnahme der Schwebungen bei Stärkeverminderung der Primärtöne kaum anders erklärbar als durch einen ständigen Intensitätsverlust der schwächeren Erregung, mag sich derselbe nun bei der Übertragung der letzteren auf die Kopfknochen oder an anderer Stelle einführen.

Eines Ausschlusses der Kopfknochenleitung suchten Cross und Goodwin[26]) (1891) sich dadurch zu versichern, dass sie zwei Gabeln, welche, mit ihren Stielen zwischen die Zähne gepresst, nicht mehr gehört wurden, an die Ohren verteilten und dort auf Wachspfröpfe in denselben setzten. Der Wachsverschluss soll die merkwürdige Eigenschaft besitzen, bei sehr schwachen Tönen nur die Einwirkung auf das Trommelfell der gleichen Seite zu verstärken, — was mir offen gestanden nicht

---

26) Cross and Goodwin, Some considerations regarding Helmholtz's theory of consonance. Proceedings of the American Academy. Vol. 27. p. 1. 1891.

recht einleuchtet. — Da trotz dieser Vorsichtsmaßregeln noch die Schwebungen richtig vernommen wurden, so halten diese Autoren eine andere Entstehungsweise derselben als durch centrale Interferenz, die ihnen zudem schon durch die von Thompson (1881) mitgeteilten Beobachtungen ziemlich sicher gestellt erscheint, für ausgeschlossen. Ferner suchen sie auch das Fehlen der Differenztöne unter diesen Reizbedingungen, nachdem sie zuvor festgestellt haben, dass man dieselben, sowohl wenn man beide Gabeln auf den Kopf setzt, als auch wenn man die eine von ihnen vor ein Ohr hält, sehr deutlich hört, als einen Beweis gegen die Existenz der Kopfknochenleitung von Ohr zu Ohr zu verwerten.

Abgesehen aber davon, dass es eine unbewiesene Voraussetzung ist, dass die kranielle Zuleitung eines Tones zu den Ohren am besten von den Zähnen aus erfolge, braucht ja der von Ohr zu Ohr geleitete Ton, um Schwebungen des anderen zu veranlassen, für sich gar nicht wahrnehmbar zu sein. Bezüglich des zweiten Beweises aber behält der schon oben (pag. 185) gegen Thompson erhobene Einwand seine Gültigkeit.

Eine Reihe eigentümlicher Bemerkungen macht Scripture[15]) (1892). Er hält die diotischen Schwebungen, deren cerebrale Entstehung ihm unzweifelhaft ist, für deutlicher als die monotischen. An eine Überleitung der Töne durch die Luft sei bei verteilten Gabeln deshalb nicht zu denken, weil die Töne, selbst wenn man die Gabeln ziemlich weit von einer Seite aus nach vorn führt, doch im gegenüberliegenden Ohre nicht gehört werden, — eine Beweisführung, die ich schon mehrfach als unhaltbar gekennzeichnet habe. — Den Ausschluss der Kopfknochenleitung hält er ferner schon dadurch für erwiesen, dass der Ton einer vor einem Ohre befindlichen Gabel bei Verschluss des anderen nicht in letzterem gehört wird, wie dies doch im Weber'schen Versuche beim Aufsetzen der Gabeln auf den Kopf statthabe.

Die Bedeutung dieses Unterschiedes der Bedingungen in beiden Versuchen für denjenigen ihrer Resultate ist dem Autor also völlig entgangen.

Die Unmöglichkeit einer Überleitung der Töne durch die Eustachischen Röhren und der getrennte Verlauf beider Hörnerven bis zum Gehirn beschließen für ihn die Reihe der Stützen seiner obigen Annahme einer Interferenz im Centralorgane. Differenztöne konnte übrigens auch Scripture bei verteilten Gabeln, z. B. von 396 und 528 Schw., nicht wahrnehmen.

Schaefer[27]) (1893) verwirft in einer kurzen Notiz den Scripture'schen Gegenbeweis gegen die Kopfknochenleitung und bestätigt nochmals das Resultat seines zu deren Nachweis unternommenen Versuches, wohl auch für eine bloß vor das eine Ohr gehaltene Gabel.

Das zweite der obigen Bedenken kommt durch diese Änderung in Wegfall, während es denkbar bleibt, dass durch das Zudrücken des einen Ohres etwa eine leichte Annäherung des Kopfes und anderen Ohres an die Schallquelle erfolgt sei. Aber dieser Einwurf ist, wie schon oben bemerkt wurde, ziemlich mangelhaft fundiert, da er eine Beobachtungstäuschung voraussetzt. Hinsichtlich der Grenzen der Beweiskraft dieses Versuches gilt natürlich das oben Gesagte.

Scripture[28]) (1893) kritisiert in Erwiderung auf die vorige Notiz den Schaefer'schen Versuch in seiner ersten Form und behauptet, bei der zweiten eben keine Verstärkung des Tones in dem einen Ohre durch Verschluss des anderen hören zu können. — Ein interessantes Seitenstück zu den Beobachtungen

27) Schaefer, Ist eine cerebrale Entstehung von Schwebungen möglich? Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 4, p. 348. 1893.

28) Scripture, Ist eine cerebrale Entstehung von Schwebungen möglich? Philos. Stud. Bd. 8, p. 638. 1893.

von Schaefer und Scripture bildet übrigens die von Urbantschitsch[29]) (1893) citierte Erfahrung einiger Ohrenärzte. Diese konstatierten nämlich unter ähnlichen Bedingungen wie jene eine Herabsetzung des Gehörs auf einem Ohre bei Verschluss des anderen.

Verzichten wir vorläufig auf eine Auflösung dieses Chaos von Beobachtungen, das gewiss nur der ungenügenden Bestimmtheit der Versuchsbedingungen zu verdanken ist, so ist uns doch in der von Schaefer bei diesem Versuche beobachteten Lokalisationsänderung ein nicht unwichtiger Anhaltspunkt für weitere Folgerungen gegeben. Diese besondere interaurale Lokalisation, welche nach den sonstigen Erfahrungen nur erscheint, sobald die Wahrnehmung eines Schalles diotisch erfolgt, beweist sonach, dass in allen Fällen ihres Auftretens in obigem Versuche sogar Erregungen durch die Kopfknochen geleitet werden, welche für das andere Ohr, freilich erst unter Verschluss desselben, hörbar sind. Aber die Erregung in demjenigen Ohre, vor welchem sich die Schallquelle befindet, muss doch immer stärker sein als in dem anderen; deshalb betont Scripture, — und ich kann ihm, die Existenz einer Reizschwelle und zwar für jedes Ohr besonders, oder einen ständigen Intensitätsabzug der übergeleiteten Erregung voraussetzend, nur beistimmen, — dass der Ton einer Gabel, welcher schon für das nächstliegende Ohr nur eben noch wahrnehmbar ist, für das gegenüberliegende jedenfalls, selbst wenn es verschlossen ist, unhörbar sein müsse, dass mithin der Schaefer'sche Versuch bei Anwendung eines ebenmerklichen Reizes, wie der Versuch es ja auch bestätigt, keinesfalls gelingen könne. Die Beweiskraft der anderen Beobachtung Schaefer's, das Verhalten der Empfindung nach ihrer intensiven Seite betreffend, wird, falls sie nicht, wie Stumpf[22]) (II.

29) Urbantschitsch, Über Wechselbeziehungen zwischen beiden Gehörorganen. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 35, p. 1. 1893.

430 f.) von der (später zu behandelnden) Verstärkung qualitativ gleicher Eindrücke beider Ohren behauptet, auf Täuschung beruht, auch nicht sehr viel weiter reichen als die der ersten, wenn auch durchaus nicht behauptet werden soll, dass subliminale Erregungen des einen Ohres ohne Einfluss auf die Intensität der Empfindungen des anderen sind. Eine Verstärkung ohne gleichzeitige Lokalisationswanderung ist ja aber in der That auch nicht beobachtet worden. Der negative Ausfall des Schaefer'schen Versuches bei leisen Tönen beweist nun aber nicht, wie Scripture meint, dass in diesem Falle überhaupt keine Erregungen durch die Kopfknochen von Ohr zu Ohr gelangen, sondern höchstens, dass die eventuell auf diesem Wege übergeleiteten Erregungen zu schwach sind, um sich durch ihren Einfluss auf die Lokalisation oder Intensität der Tonempfindung zu verraten. Sie können deshalb aber doch selbst ohne die Verstärkung durch den Ohrverschluss noch stark genug sein, um merkliche Intensitätsschwankungen eines zu demselben Ohre direkt geleiteten qualitativ und intensiv nicht zu differenten Tones zu veranlassen.

Wundt gab Ostern 1893, die Mängel der bisher von Vertretern beider Parteien versuchten Beweise erkennend, die Anregung zu der vorliegenden Arbeit. In demselben Sinne lehnt er auch[30]) (1893) mit der Bemerkung, dass die bisherigen Versuche »noch der Wiederholung mit sorgfältiger Variierung der Bedingungen« bedürfen, eine Entscheidung der Frage ab, wenn er auch, wie dies besonders aus einer Spezialarbeit[31]) (1893) hervorgeht, mehr zu der Annahme einer cerebralen Entstehung der Schwebungen neigt. Eine Bestätigung derselben und damit

30) Wundt, Physiol. Psych. 4. Aufl. Bd. 1, p. 478 f. 1893.
31) Wundt, Ist der Hörnerv direkt durch Tonschwingungen erregbar? Philos. Stud. Bd. 8, p. 641. 1893.

der oscillatorischen Art der Erregungsvorgänge im Nerven erblickt er unter anderem in der oben (pag. 186) citierten Thompson'schen Beobachtung von Schwebungen zwischen einem objektiven Tone und einer abklingenden akustischen Empfindung, — was freilich die rein nervöse Natur der letzteren zur Voraussetzung hat; aber Preyer[19]) will ja auch zwischen Nachbildern Schwebungen beobachtet haben. — Auch die bekannten Beobachtungen Ewald's an labyrinthlosen Tauben scheinen Wundt für die oscillatorische Beschaffenheit der akustischen Nervenerregungen zu sprechen. Bei geeigneten Tonstärken und geringem Schwingungsunterschiede der beiden Primärtöne hält er übrigens eine periodisch eintretende völlige Aufhebung der Schwingungen für möglich, — eine Meinung, die freilich durch die bisherigen Erfahrungen nicht unterstützt wird. — Den gänzlichen Ausschluss sowohl der Luft- wie der Kopfknochenleitung eines Tones von Ohr zu Ohr sieht er dann für gesichert an, wenn derselbe bei Verschluss desjenigen Ohres, vor welchem sich die Gabel befindet, nicht im anderen gehört wird.

Aber sowohl was die Wege, als auch was die Stärke der Überleitung betrifft, scheinen mir die Bedingungen für diese Entstehung der Schwebungen die in jenem Versuche vorausgesetzten sehr wohl überschreiten zu können (conf. Fechner[21]).

Bloch[32]) (1893) verband zwei in entgegengesetzten Phasen schwingende Telephone je mit einem Ohre, fand aber ebenso wie Seebeck und Mach hierbei keine Auslöschung des betreffenden Tones. Eine Vermischung beider Tonwellenzüge, sagt er, müsse freilich auch hier eintreten, was ja die Entstehung von Schwebungen bei nicht ganz unisonen Tönen beweise. »Aber die Auslöschung unterbleibt, weil, bevor sie möglich wird, der

32) Bloch, Das binaurale Hören. Zeitschr. f. Ohrenheilk. Bd. 24, p. 25. 1893.

Ton auf jeder Seite schon den Hörnerven erregt hat. Die gegenseitige Beeinflussung der in entgegengesetzten Wellenformen den Kopf und seine lufthaltigen Räume durchflutenden Töne macht sich aber gleichwohl für die Empfindung bemerklich«. — Die peripherische Interferenz scheint, soviel diesem Passus zu entnehmen ist, dem Autor also festzustehen.

Ewald[33]) wandte folgende Versuchsanordnung an, um einen sicheren Ausschluss von Luft- und Knochenleitung zu erzielen. Die Töne zweier in besonderen Zimmern aufgestellter Gabeln wurden dem Beobachter durch Vermittelung von vier Telephonen zugeleitet. An den Telephonen des Beobachters befand sich über der Membran ein kurzes Hörrohr, auf dessen Öffnung ein Gummischlauch mit Ohrstück geschoben war. Letzteres ließ sich durch eine Schraube derartig verschließen, dass durch dasselbe kein Ton mehr vom Telephon gehört werden konnte. Die Töne der Gabeln (ca. 130 Schw.), die in 9 m Entfernung von den betreffenden Aufnahmetelephonen aufgestellt und elektrisch angeregt wurden, konnten durch Regulierung der Stromstärke und der Entfernung der Elektromagnete von den Gabelzinken so leise gemacht werden, dass nichts zu hören war, wenn die Ohrstücke nur vor die Ohren gehalten, gegen den Schädel gedrückt oder zwischen die Zähne genommen wurden. Nur wenn dieselben ohne ihre Verschlussschrauben in die Gehörgänge geschoben wurden, waren die betreffenden Töne zu hören, und zwar zeigten dieselben einzeln gehört nicht die geringsten Intensitätsschwankungen, während doch beim gleichzeitigen Hören beider die Schwebungen deutlich hervortraten. Ewald glaubt, dass hiernach die centrale Entstehung der Schwebungen und damit die oscillatorische Form der Erregungen des Akustikus

33) Ewald, Die centrale Entstehung von Schwebungen zweier monotisch gehörter Töne. Pflüg. Arch. Bd. 57, p. 80. 1894.

nicht mehr bezweifelt werden könne. Bei nicht einfachen Sinusschwingungen fand er die Schwebungen zwar auch deutlich, aber doch nicht so intensiv wie bei reinen Tönen.

Dass bei dieser Versuchsanordnung die Luftüberleitung der Töne ausgeschlossen ist, auch eine Übertragung derselben von den Ohrstücken direkt auf den Kopfknochen das Zustandekommen der Schwebungen nicht vermitteln konnte, wird niemand bezweifeln; was jedoch die Beweiskraft dieses Versuches in Hinsicht der Nichtexistenz einer durch die schwingenden Teile des Ohres vermittelten Kopfknochenleitung oder auch nur ihrer Bedeutungslosigkeit für die diotischen Schwebungen betrifft, so könnte ich nur das früher Gesagte wiederholen.

Weiter ist eine Untersuchung von Bernstein[34]) (1894) zu erwähnen. Für den Schwebungsversuch benutzte er eine der Thompson'schen ähnliche Einrichtung: die Töne zweier sehr wenig gegen einander verstimmter Federn, die elektrisch angeregt wurden und zugleich Stromunterbrecher waren, wurden nur gehört, wenn man die Schlauchenden in die Gehörgänge führte. Die Schwebungen traten auch bei geringster Intensität der zugeleiteten Töne mit derselben Deutlichkeit wie bei lauten Tönen hervor. Letzteres erklärt Bernstein daraus, dass die leisesten Töne ja wohl um denselben Bruchteil ihrer Stärke durch Schwebung geschwächt und verstärkt werden, wie die lauten.

Da Stumpf, der seine Aufmerksamkeit besonders auf diese Erscheinung gerichtet hatte, sogar die Beobachtung machte, dass die Schwebungen um so deutlicher hervortreten, je leiser die Töne werden, so muss sich die Bernstein'sche Erklärung

---

34) Bernstein, Über die spezifische Energie des Hörnerven, die Wahrnehmung binauraler (diotischer) Schwebungen u. s. w. Pflüg. Arch. Bd. 57, p. 475. 1894.

vielleicht noch eine kleine Modifikation gefallen lassen. Doch hängt dies davon ab, ob sich die Deutlichkeitsänderung der Schwebungen wirklich auf eine Änderung des Intensitätsverhältnisses ihrer Grenzamplituden, bezüglich schon desjenigen ihrer Komponenten gründet, oder nur auf eine Erhöhung der dem entsprechenden Unterschiede der maximal-distanten Empfindungsstärken zugewendeten Aufmerksamkeit zurückzuführen ist, die von den leiseren Tönen weniger in Anspruch genommen wird (conf. Stumpf[22]) II. 469). Aber es fehlt ja auch die umgekehrte Beobachtung nicht, dass die Schwebungen bei Intensitätsabnahme der Primärtöne schwächer werden und eher verschwinden als diese (Schaefer).

Unter Benutzung der obigen Einrichtung versuchte Bernstein auch, durch ein dem Mach'schen ähnliches Experiment die Existenz der Kopfknochenleitung nachzuweisen: jeder der beiden Beobachter führt einen der beiden Hörschläuche in ein Ohr hinein, und beide beißen dann in ein kurzes Holzbrett, welches an beiden Enden einen Siegellackabdruck ihrer Gebisse trägt. Diese letztere Einrichtung zunächst traf Bernstein als die passendere gegenüber der Mach'schen deshalb, weil er die Schallleitung von den Ohren zu den Zähnen für eine besonders gute hielt (wie dies ja von der umgekehrten bekannt ist) und so keine zu große Intensitätsdifferenz zwischen der direkten und der indirekten Erregung zu erhalten hoffte. Eine gleichzeitige direkte Erregung aber wandte er an, weil sich das Vorhandensein der indirekten, wenn sie auch an sich unter die Empfindungsschwelle fiel, doch vielleicht noch an Schwebungen oder Intensitätsschwankungen der wahrnehmbaren direkten Erregung nachweisen lassen konnte. Denn seien a und b die Intensitätswerte der direkten und indirekten Erregung, so müssen nur etwa die Intensitäten $a + b$ und $a - b$ (als Maximal- und Minimal-Amplituden der Schwebungen) ebenmerklich verschieden

sein, damit der Einfluss der indirekten Erregung noch erkannt werde; dazu braucht aber keinesfalls b, sondern nur $a + b$ den Schwellenwert zu übersteigen. Aber trotz dieser raffinierten Einrichtung hatte der Versuch doch nur ein negatives Resultat. — Hieraus darf natürlich keinesfalls geschlossen werden, dass $a + b = a - b$ oder $b = 0$ gewesen sei, sondern nur, dass $a + b$ und $a - b$ nicht ebenmerklich verschieden waren. Die Bedingungen dieses Versuches sind ja aber auch bedeutend ungünstiger für die Überleitung als diejenigen bei diotischen Schwebungen, weshalb bei letzteren $a + b$ und $a - b$ doch noch merklich verschieden sein können.

Kürzlich hat auch wieder Schaefer[35] (1895) seine schon früher vertretene Ansicht von der Entstehung der diotischen Schwebungen zunächst direkt durch ein Experiment zu stützen versucht, welches dem letzten Bernstein'schen ähnlich ist: er verband eines seiner Ohren durch ein passend gebogenes Hartgummistück mit dem einen Ohre einer zweiten Person, vor deren anderes Ohr eine tönende Stimmgabel gehalten wurde, und vernahm so ganz leise den Ton der letzteren, welchen er bei aufgehobener Berührung mit dem Hartgummistücke durch die Luftleitung nicht hören konnte. — Die Bedingungen für die Wahrnehmung des Tones sind aber bis auf den etwas größeren Leitungswiderstand in diesem Experimente dieselben wie in dem oben (pag. 192) beschriebenen Versuche desselbeu Autors. — Wenn nun hiernach, meint Schaefer, die Kopfknochenleitung einen ziemlich schwachen Ton schon so stark überträgt, dass er im anderen Ohre selbständig wahrnehmbar ist, so werde sie auch eine wenig schwächere Erregung noch in einer Stärke

35) Schaefer, Beweise gegen Wundt's Theorie von der Interferenz akustischer Erregungen im Centralorgane. Pflüg. Arch. Bd. 61, p. 544. 1895.

zum anderen Ohr gelangen lassen, welche genügt, um dort einen erkennbaren Einfluss auf die Intensität eines direkt zugeleiteten gleichen Tones auszuüben.

Schaefer vergisst aber hierbei, dass die übergeleitete Erregung in den obigen Versuchen durchaus nicht selbständig, sondern erst nach beträchtlicher Verstärkung durch den Verschluss des Ohres die Reizschwelle überschreitet. Da nun eine solche Verstärkung in den Interferenzversuchen fehlt, so ist die wichtige Stütze hinfällig, welche Schaefer seinem Schlusse in der Annahme verlieh, dass die Stärkedifferenz der betreffenden Erregungen in beiden Versuchen nur eine unbeträchtliche sei. Auch auf der anderen Seite geht Schaefer wohl etwas zu weit, wenn er nicht nur in der geringen Deutlichkeit der Differenz- und Stoßtöne beim diotischen Hören, sondern sogar in dem bekannten Weber'schen Taschenuhrenversuche einen strikten Beweis gegen die centrale Interferenz der beiderseitigen Erregungen erblickt. Denn ersteres gestattet höchstens den Schluss, dass es bei der Interferenz, wo sie auch stattfinden mag, an den zur Entstehung solcher Wahrnehmungen nötigen Bedingungen fehle; dass außerdem diese mit der Interferenz überhaupt zusammen fallen, bedarf erst noch des Nachweises. Sollte aber der lokale Unterschied zwischen den Erregungen beider Ohren, welcher in dem letzteren Versuche ja wohl allein das Auseinanderhalten der beiderseitigen Taktreihen ermöglicht, hierfür entscheidend sein, so müsste zuvor feststehen, dass eine cerebrale Interferenz, und nur eine solche (keine bloße Mischung) denselben beseitigen würde.

Wir wollen nun noch einmal kurz die Reihe der auf die Interferenzerscheinungen bezüglichen Erfahrungen überblicken. Was zunächst die oben mitgeteilten Beobachtungen betrifft, so fand sich die Frequenz der Schwebungen stets (selbst bei Höhenunterschied des Hörens in beiden Ohren) beim diotischen

Hören als dieselbe wie beim monotischen, dagegen die Frequenz- und Tonhöhengrenzen sowie die Stärke derselben bei ersterem, die maximale Intensitätsdifferenz der Primärtöne, bei welcher noch Schwebungen hörbar sind, beim monotischen Hören geringer. Man pflegt die diotischen Schwebungen meist erst einige Zeit nach der Zuleitung der Primärtöne zu bemerken, sie werden dann wohl mit dem Ausklingen der letzteren immer deutlicher, scheinen überhaupt bei leisen Tönen stärker als bei lauten. (Auch wo keine Schwebungen vernommen werden, wie bei größeren Intervallen oder bei Diplakusis bleibt doch die Dissonanz erhalten.) Diotische Schwebungen treten, wenn auch mit geringerer Deutlichkeit, ebenso bei nicht einfachen Sinusschwingungen auf. Auch zwischen einem objektiven Tone und einem Differenztone oder der abklingenden akustischen Empfindung eines anderen Tones sind diotische Schwebungen beobachtet worden; ob solche auch zwischen abklingenden akustischen Empfindungen oder Nachbildern zweier schwebender Töne statthaben, ist jedoch strittig.

Die auffallende Ähnlichkeit der diotischen Interferenzerscheinungen mit den monotischen legt nun den Analogieschluss auf dieselbe (peripherische) Entstehung beider nahe; doch ist eine endgültige Bestätigung desselben im wesentlichen an die Frage der Kopfknochenleitung geknüpft. Obwohl nun diese für nicht zu leise Töne durch die Schaefer'schen Versuche nachgewiesen ist, so gelang es doch nicht, die Existenz und fundamentale Bedeutung derselben für den ganzen Umfang der betreffenden Erscheinungen direkt durch besondere Versuche zu erweisen, teils weil deren Beweiskraft nicht ausreichte, teils weil die Versuchsbedingungen zu ungünstige und so die entscheidenden Empfindungen zu undeutliche waren. Aber auch sie zu widerlegen, stellte sich als unmöglich heraus, teils weil sich ein völliger Ausschluss der Knochenleitung nicht mit

Sicherheit erzielen ließ, teils weil das Nichtauftreten einer Empfindung kein Beweis ist für die Nichtexistenz einer Erregung. Dass ferner der Mangel oder die Schwäche diotischer Differenztöne nicht für bezw. gegen die cerebrale Interferenz zu verwerten ist, wurde oben nachgewiesen. Dass endlich ein centraler Ort der Interferenz, selbst wenn er besteht, sich schwerlich wird direkt nachweisen lassen, liegt wohl in der Natur der Sache*). Eine definitive Erklärung der vorliegenden Erscheinungen ist also bisher nicht gewonnen worden und wohl auch schwerlich als eine apodiktisch gewisse zu erreichen. Diese Untersuchung kann also nur die Aufgabe haben, die Wahrscheinlichkeit des obigen Analogieschlusses einer positiven oder negativen Gewissheit möglichst anzunähern. Sie wird dabei zunächst an die Besonderheiten der diotischen Interferenzerscheinungen und ihre Abweichungen von den monotischen anknüpfen müssen. Die letzteren bestehen nun nach Obigem hauptsächlich in der geringeren Stärke, in welcher zugleich einige andere Unterschiede, z. B. Frequenz- und Tonhöhengrenzen der Schwebungen betreffende, ihre Erklärung finden dürften. Daraus, dass gleich starke zu beiden Ohren geleitete Töne bei allen Qualitätsdistanzen weit schwächere Schwebungen geben als bei monotischer Zuleitung, und besonders daraus, dass

*) Die schon von Munck[36] (1881) und anderen nach Versuchen erschlossene Kreuzung der Hörnerven ist zwar neuerdings (als eine partielle) auch anatomisch nachgewiesen worden (vergl. Held[37]) 1893). Doch dürfte dieselbe kaum zur Erklärung der Interferenzerscheinungen herangezogen werden können, da eine Kommunikation der beiderseitigen Akustikusbahnen, wie sie hierfür verlangt werden müsste, in derselben schwerlich gegeben ist.

36) Munk, Über die Hörsphären der Großhirnrinde. Monats-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1881, p. 470.

37) Held, Die centrale Gehörsleitung. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1893, H. 3 u. 4.

sie sich bei gleicher Höhe und entgegengesetzten Phasen nicht auslöschen, kann schon hier geschlossen werden, dass die beiderseitigen Erregungen nicht in ihrer Totalstärke zu einem Interferenzpunkte gelangen, sondern sich verzweigen, um dann entweder nur zu einem Teile an einem, oder in Teilen von verschiedener Stärke an verschiedenen Orten zu interferieren. Aus den bei Diplakusis gemachten Erfahrungen folgt ferner, dass Erregungen einer Seite nicht, soweit sie erst mit solchen der anderen interferieren sollen, einer Qualitätsmodifikation unterliegen können, welche letztere demnach nur (dem vorigen „aut —aut" entsprechend) entweder solche Erregungen, die unvermischt geblieben, oder solche, die aus einer Interferenz hervorgegangen sind, betreffen kann.

Für weitere Folgerungen wird es sich aber nötig machen, auch die übrigen Eigentümlichkeiten des diotischen Hörens in den Kreis der Betrachtung zu ziehen. Denn nur so kann es gelingen, ein hinreichend genaues Bild von dem Schauplatze der fraglichen Interferenzvorgänge zu entwerfen, welches nicht mehr in verschiedene Rahmen passt.

2. Ständige Modifikationen der Intensität.

Deren giebt es zwei Arten, nämlich solche, die in einer Verstärkung, und solche, die in einer Schwächung der Empfindung ihren Ausdruck finden. Über die Art der Beziehung, welche diesen Erscheinungen zu Grunde liegt, lässt sich vorläufig aber nichts aussagen; nicht einmal der Zusammenhang der Modifikationen positiver Richtung mit den negativ gerichteten kann schon als ausgemacht gelten, weshalb wir diese beiden Erscheinungsgruppen auch hier getrennt behandeln wollen.

a. Verstärkung.

Beobachtungen, welche auf eine Erhöhung der Intensität der Gesamt- oder der Teilempfindungen beim diotischen Hören hinzudeuten scheinen, sind schon ziemlich früh gemacht worden, ohne dass deren große theoretische Bedeutung erkannt worden ist.

So ist wohl eine der ersten Beobachtungen über eine Verstärkung beim diotischen Hören von Seebeck[2]) (1846) gemacht worden. Er fand bei seinem schon oben beschriebenen Sirenenversuche, sowohl wenn die beiden Töne die Ohren in gleichen, als auch wenn sie dieselben in entgegengesetzten Phasen trafen, die Empfindungsintensität größer als die den einzelnen, monotischen Erregungen entsprechende. Doch war der Zuwachs in jenen beiden Fällen nicht gleich groß, sondern bei gleichen Phasen bedeutender als bei entgegengesetzten.

Hier ist nun zwar eine Luftüberleitung jedes Tones von Ohr zu Ohr vorhanden, aber durch dieselbe wird ja doch nichts anderes als eine Interferenz ermöglicht, wie sie noch außerdem peripher durch Kopfknochenleitung oder central zu stande kommen muss. Eine aus Interferenz hervorgehende Intensitätsänderung, für deren Maximum die Stärke der übergeleiteten Erregung bestimmend ist, kann aber niemals eine ständige sein, sondern ist eben in Abhängigkeit von der Phasendifferenz der interferierenden Töne bald größer, bald kleiner, bald positiv, bald negativ. Dies gilt für jede Art der Interferenz. Bei gleichen Phasen der zugeleiteten Töne ließe sich also wohl ein gewisses Maß der Verstärkung der diotischen Empfindung beider gegenüber der monotischen eines derselben aus einer Interferenz dieser Töne erklären, aber bei entgegengesetzten Phasen der letzteren ist eine Erklärung der Verstärkung auf diesem Wege geradezu unmöglich, sollte man doch hier im Gegenteil eine der Verstärkung bei gleichen Phasen völlig gleichwertige

Schwächung erwarten. Aus diesem Grunde kann auch von einer Täuschung bei obigem Versuche gar nicht die Rede sein. Es ist hier also eine ständige dem diotischen Hören eigentümliche Verstärkung zu konstatieren, welche mit den oben behandelten Interferenzerscheinungen durchaus nichts zu thun hat, sondern unabhängig neben ihr besteht. Diese wichtige Konsequenz hat man, wie gesagt, aus dem Seebeck'schen Versuche bisher nicht gezogen. Man hat zwar oft die Verstärkung beim diotischen Hören untersucht, ja sogar gemessen; aber was hat dies alles für einen Wert, so lange man nicht weiß, wieviel von der Verstärkung, ja ob sie nicht ganz auf Rechnung der Interferenz zu setzen ist, aus welcher bei gleichen Phasen der interferierenden Töne doch auch eine Verstärkung folgt!

Dove [38]) (1857) beobachtete bei einem Versuche, wo zwei unisone gleich stark tönende Gabeln vor die Ohren verteilt waren, und eine derselben um ihre Axe gedreht wurde, neben der Erscheinung, dass der Ton abwechselnd rechts und links gehört wurde, auch ein Anschwellen und Abnehmen des letzteren.

Verwertbar ist dieser Versuch für uns kaum, da seine Bedingungen nicht einfach genug sind; denn nicht nur die Differenz der Intensitäten beider Töne, sondern auch diejenige ihrer Phasen wird durch die Rotation der einen Gabel periodisch verändert. Außerdem wissen wir ja nichts von der anfänglichen Phasendifferenz bei gleicher Stellung beider Gabeln. Um von dieser und anderen Unregelmäßigkeiten unabhängig zu sein, sollte man überhaupt da, wo es sich um Leitung gleicher Töne zu beiden Ohren handelt, immer nur eine Gabel verwenden.

---

38) Dove, Eine akustische Interferenz. Pogg. Ann. Bd. 101, p. 492. 1857.

In dieser Weise verfuhr auch Scott Alison[39]) (1859). Er ließ vermittelst eines »Differential-Stethophons« den Ton einer Schallquelle auf getrennten Wegen in beide Ohren gelangen. Die Intensitätsdifferenz beider Reize variierte er meist durch Entfernen der Mündung eines der Zweige des Apparates von der Schallquelle. Der Schall wurde nun immer nur in demjenigen Ohre gehört, welches ihn in größerer Intensität empfing, jedoch wurden Intensitätsänderungen des anderen Reizes empfunden, aber als ebensolche des ersteren.

Diese können hier zwar fast rein als eine Folge jener angesehen werden. Aber über die Beziehungen beider Erregungen. welche dieser Erscheinung zu Grunde liegen, erfahren wir doch aus diesem Versuche nichts. Denn sowohl aus einer Interferenz würde infolge der Phasengleichheit beider Erregungen bei Intensitätsänderung der einen eine solche der anderen oder der Gesamterregung gefolgert werden müssen, als auch sind noch andere Beziehungen beider Erregungen denkbar, welche unter den gleichen Versuchsumständen eine Intensitätsänderung der Totalempfindung erwarten ließen.

Auch Fechner[7]) (1860) konstatierte einen beträchtlichen Intensitätsunterschied der Empfindung beim diotischen und monotischen Hören. Sowohl wenn er die eine von zwei vor die Ohren verteilten Gabeln ungefähr gleicher Höhe entfernte, als auch wenn er, diotisch auf den Ton einer vor ihm stehenden Gabel horchend, plötzlich ein Ohr verstopfte, fand er die Empfindung des Tones auffallend geschwächt. Verteilte er zwei gleiche Gabeln verschiedener Intensität vor die Ohren, und ließ er dann die leisere vor dem einen rotieren oder besser hin- und

39) Scott Alison, On the differential stethophone, and some new Phenomena observed by it. Proceedings of the Royal Society of London. Vol. 9, p. 196. 1859.

herschwingen, so hatte er deutlich den Eindruck monotischer Stöße auf der Seite der ruhenden Gabel. Auch wenn die gedrehte .oder geschwungene Gabel sich dem Ohre näher befand als die andere, oder wenn bei gleicher Entfernung beider Gabeln von den Ohren in nicht zu langsamem Wechsel bald die eine, bald die andere die Rolle der bewegten übernahm, wo dann ebenfalls nur ein intermittierender oder periodisch anschwellender und abnehmender Ton und zwar auf der Seite der bewegten Gabel gehört wurde, bewirkte die Entfernung der ruhenden Gabel sofort eine Schwächung des Totaleindrucks. Fechner glaubt hieraus schließen zu müssen, dass sich die Töne beider Ohren zu einem gemeinsamen Eindrucke kombinieren, und meint, dass man wenigstens keinen Grund habe, eine Fortpflanzung jedes Tones durch die Kopfknochen von Ohr zu Ohr, wie sie bei den binauralen Schwebungen vorliege, auch hierbei als wesentlich anzunehmen.

Eine klare Scheidung der Ursachen beider Erscheinungen ist jedoch auf Grund der Fechner'schen Versuche kaum möglich. Denn die Bedingungen, unter welchen er die Verstärkung in seinen Versuchen beobachtet hat, könnten ja genau dieselben sein, wie diejenigen, unter welchen die Intensitätsmaxima der Schwebungen auftreten; vor allem könnte Phasengleichheit der zugeleiteten Töne bestehen, welche nur in Fechner's Versuchen dauernd, bei den Schwebungen dagegen momentan aber rhythmisch wiederkehrend wäre. Da nun freilich bei Verwendung zweier Gabeln die Phasendifferenz beider Töne von Versuch zu Versuch wahrscheinlich immer eine andere ist, eine Verstärkung aber nicht nur ausnahmsweise, sondern in jedem Falle beobachtet wurde, so ließe sich auch hieraus allenfalls, wenn auch nicht gerade sehr elegant, auf eine ständige, nicht nur bei Phasengleichheit mögliche Verstärkung schließen.

Der von Mach[8]) 1864 angestellte und schon oben (pag. 181) eingehend beschriebene Versuch mit dem Interferenzröhrensystem hat ähnlich dem Seebeck'schen auch für die vorliegende Frage eine besondere Bedeutung. Indem wir im übrigen auf das Frühere verweisen, wollen wir hier nur darauf aufmerksam machen, dass der Ton einerseits stärker gehört wurde bei Kombination der Röhren a und c als bei derjenigen der Röhren b und c, woraus hervorgeht, dass die Phasendifferenz beider Töne nicht ohne Einfluss auf die Intensität der Tonempfindung ist. Andererseits fand sich die letztere bei diesen beiden Kombinationen deutlich stärker als bei derjenigen der Röhren a, b und c.

Die Konsequenzen aus dieser letzten Beobachtung habe ich schon oben bei Besprechung des Seebeck'schen Versuches gezogen. Eine Luftüberleitung der Töne von Ohr zu Ohr ist auch hier nicht ausgeschlossen, da die Röhren, welche zu den beiden Ohren führen, miteinander kommunizieren. Aber während dieselbe beim Seebeck'schen Versuche völlig bedeutungslos war, kann dies von ihr beim Mach'schen Versuche nicht gesagt werden; denn die Wegelängen von Ohr zu Ohr sind in den aufeinanderfolgenden Anordnungen, für welche das Verhalten der Empfindung verglichen werden soll, nicht gleich. Zudem entstehen beim Zudrücken einer der Röhren an der Verschlussstelle immer Reflexwellen, die je nach dem Orte des Verschlusses auf die anderen in dem Röhrensystem verlaufenden Wellen einen verschiedenen Einfluss haben. Dieser Versuch ist also jedenfalls nicht einwandfrei, wenn auch das Resultat desselben darum nicht gerade als durchaus fehlerhaft und entstellt anzusehen ist. Auch ergab ja, wie Mach (freilich nicht ausdrücklich für jeden Punkt) bemerkt, ein anderes von diesen Einwänden freies Experiment, bei welchem durch eine Röhrenverbindung gleiche und entgegengesetzte Phasen von verschiedenen Zinkenseiten ein und derselben Gabel aufgefangen wurden, dasselbe Resultat.

Docq[10]) (1870) versuchte den Intensitätsunterschied eines konstanten Tones bei abwechselnd monotischem und diotischem Hören zu messen, indem er die Entfernungen der Schallquelle bestimmte, bei welchen der Ton beide Male gleich stark gehört wurde. Das Verhältnis der Hörschärfe in beiden Fällen, welches er dem Verhältnis der Quadrate der entsprechenden Entfernungen gleichsetzte, bestimmte er auf ca. 2,7; er bemerkt jedoch, dass die unmittelbare Beobachtung einen solchen Unterschied nicht erkennen lasse.

Gegen die Berechnung wie gegen die Versuchsmethode lässt sich aber auch verschiedenes einwenden (conf. Stumpf[22]) II. 436). Zunächst gilt der Satz, dass sich die Schallstärke umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung von dem Schallerreger ändere, wohl nur da, wo die Dimension der letzteren gegenüber den allseitigen Entfernungen von den reflektierenden Begrenzungen des betreffenden Raumes unbeträchtlich ist. Weiter ist es sehr fraglich, ob das Verhältnis der physiologischen Erregungsstärken oder gar der Empfindungsintensitäten im vorliegenden Falle überhaupt durch dasjenige der physikalischen Reizstärken gemessen werden könne. Sodann wird bei Verschiebung der Schallquelle in der Gesichtslinie in Bezug auf die Ohren nicht nur die Entfernung sondern auch die Richtung derselben geändert. Endlich kann auch die Störung, welche für die Intensitätsvergleichung aus dem Verstopfen oder Zudrücken des Ohres erwächst, was ja den Schall zugleich dumpfer macht, durchaus nicht sehr unbedeutend sein; Fechner fand wenigstens eine sichere Vergleichung unter diesen Umständen fast unmöglich.

Le Roux[40]) (1875) beobachtete zunächst, dass die durch

40) Le Roux, Sur les perceptions binauriculaires. Comptes rendus. Bd. 80, p. 1073. 1875.

Abstandsänderungen einer für sich nahezu unhörbaren Gabel vom Ohr herbeigeführten Intensitätsschwankungen des betreffenden Tonreizes deutlich wahrgenommen werden, sobald eine voll tönende gleichgestimmte Gabel dem anderen Ohre genähert wird. Ferner schätzte er bei gleich starker Reizung beider Gehörorgane die Intensität der Gesamtempfindung etwa gleich der Quadratsumme der Intensitäten der Einzelempfindungen. — Bloße Schätzungen sind aber doch wohl etwas zu wenig verlässlich, um solche Formeln darauf zu stützen. Der obige Versuch aber bestätigt im wesentlichen die Mitteilungen von Scott Alison und Fechner.

Tarchanow[41]) (1878) fand, wenn er telephonisch zu beiden Ohren einen Ton leitete, der sich für jedes Ohr an der Schwelle der Hörbarkeit befand, immer eine zwar schwache aber deutliche Empfindung und schloss hieraus auf eine centrale Summation selbst subliminaler monotischer Erregungen.

Dieser Schluss scheint mir aber mindestens nicht notwendig; hier, wo der Schall zu beiden Ohren in gleicher Phase gelangt, ist auch eine Verstärkung durch Interferenz möglich, und zwar auch, wenn die beiden Erregungen subliminale sind. Aber fände selbst eine Verstärkung auch dann noch statt, wenn derselbe Ton in entgegengesetzten Phasen zu beiden Ohren gelangt, so wäre die centrale Summation der Erregungen doch immer noch nicht die einzig mögliche Grundlage dieser Erscheinung.

Preyer[42]) (1879) bestätigte durch eigene Versuche die Beobachtung Tarchanow's und acceptiert auch dessen Erklärung

---

41) Tarchanow, Das Telephon als Anzeiger der Nerven- und Muskelströme beim Menschen und den Tieren. St. Petersburger med. Wochenschr. 1878, No. 43. (n. R.)

42) Preyer, Die akumetrische Verwendung des Bell'schen Telephons. Sitz.-Ber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturwiss. 1879, p. 45.

derselben. Auch fand er bei seinen Telephonversuchen die Tonempfindung in dem einen Ohre immer bedeutend verstärkt, wenn das zweite Hörtelephon dem anderen Ohre genähert wurde.

Körting[43]) (1879), welcher eine große Zahl von Personen nach dieser Methode untersuchte, fand durchgängig das Hörvermögen beim diotischen Hören größer als beim monotischen.

Kessel[44]) (1882) behauptet, dass die Entfernung einer vorn in der Medianebene befindlichen Schallquelle vom Beobachter, um deutlich vernommen zu werden, beim diotischen Hören nicht größer sein könne, als beim monotischen. — Wie der Widerspruch zwischen dieser und den obigen Beobachtungen zu lösen sei, ist mir nicht klar, zumal weder in ihren objektiven, noch auch in ihren subjektiven Bedingungen ein Unterschied nachweisbar ist.

Fechner[21]) (1883) spricht sich gegen die von Tarchanow und Preyer angenommene centrale Summation der Erregungen aus; denn für diesen Fall meint er, müsse man erwarten, dass erstens die Versuche mit zwei vor die Ohren verteilten Schallquellen, wie z. B. der Taschenuhrenversuch Weber's, dasselbe Resultat geben wie bei Anordnung beider Schallquellen vor demselben Ohre, und zweitens der Schall, um diotisch hörbar zu sein, monotisch nur wenig die halbe Schwellenhöhe zu übersteigen brauche, was ja nach Preyer (ebenda p. 160) durchaus nicht der Fall ist. Aber auch anatomisch sei es ja gar nicht erwiesen, dass »die beiden Hörnerven im Gehirn an einer und derselben Stelle in einander

---

43) Körting, Telephonische Hörprüfung. Sitz.-Ber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturwiss. 1879, p. 67.

44) Kessel, Über die Funktion der Ohrmuschel bei den Raumwahrnehmungen. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 18, p. 120. 1882.

münden«. Doch mit Rücksicht auf die Thatsache, dass man diotisch denselben Schall nur einfach hört, schließt Fechner (p. 174): »Ich denke mir also, dass die beiden Akustikusnerven im Gehirn zwar besonders endigen, aber doch eine schwache Verbindung haben, welche die Einigung ihres Schalles zu einem Eindruck für die Empfindung vermittelt, ohne aber eine volle Summierung der Stärke nach zu gestatten, gebe aber das Hypothetische dieser Vorstellungsweise zu«.

Der zweite der obigen Einwände trifft aber eben nur den Fall einer totalen Vereinigung beider Akustikusbahnen, und der erste ruht zudem auf der ganz unbegründeten Annahme, dass eine solche jeden lokalen Unterschied der den beiderseitigen Reizen entsprechenden Gehörsempfindungen aufheben würde. Umgekehrt scheint mir aber eine »schwache Verbindung« beider Hörnerven diese Aufhebung bei gleichzeitigen qualitativ gleichen Erregungen derselben auch nicht zu gewährleisten.

Man könnte vielleicht auch die Erscheinung der Mitübung hierher beziehen, welche Urbantschitsch[45]) (1883) bei einseitig vorgenommenen Hörübungen an dem von der Reizeinwirkung ausgeschlossenen Ohre beobachtete und durch den Trigeminus vermittelt ansieht, dessen Funktion dabei wohl darin bestehen soll, dass er die Erregbarkeit des anderen Organs erhöht.

Auch Eitelberg[46]) (1883) konstatierte bei Untersuchung des Einflusses von Gehörübungen eines Ohres auf das andere unter 18 Fällen 12 mal eine allmählich ansteigende, doch bald vorübergehende Hörverbesserung des letzteren.

---

45) Urbantschitsch, Über den Einfluss von Trigeminusreizen auf die Sinnesempfindungen u. s. w. Pflüg. Arch. Bd. 30, p. 129. 1883.

46) Eitelberg, Über den Einfluss der Behandlung des einen Ohres auf das andere nicht behandelte Ohr. Zeitschr. f. Ohrenheilk. Bd. 12, p. 162. 1883.

Eine gewisse Verstärkung infolge der Übung des anderen Ohres könnte freilich außer durch eine Summe von Miterregungen wohl auch durch die allmählich erleichterte und erhöhte Koncentration der Aufmerksamkeit auf die betreffende Reizqualität im allgemeinen hervorgebracht sein.

In einer weiteren Arbeit bestätigt Urbantschitsch [47]) (1883) die Le Roux'schen Angaben und spricht, gestützt auf einige weitere Beobachtungen, die Behauptung aus, dass auch zwei Schalle von beliebig verschiedener Qualität, jeder je einem Ohre isoliert zugeleitet, einander verstärken. Diese Verstärkung soll bei hochgradig schwerhörigen Personen besonders deutlich aber meist einige Sekunden verspätet auftreten und zwar auch dann noch, wenn eine der Gabeln schon wieder entfernt ist. Urbantschitsch führt die Verstärkung darauf zurück, dass zu den von außen kommenden Hörimpulsen noch central erregte subjektive Reize hinzukommen, welche die in Erregung versetzten akustischen Centren der einen Seite auf diejenigen der anderen ausüben.

Was Urbantschitsch hier unter diesen centralen Reizen versteht, ist nicht ganz deutlich. Er billigt [48]) (1881) die Annahme, dass ein akustischer Reiz nicht unmittelbar eine ihm entsprechende Empfindung veranlasse, sondern zunächst einen psychophysischen Erregungszustand hervorrufe, der seinerseits erst die Gehörsempfindung auslöst. Hiernach würde er diese Aktion wohl auch einem centralen Erregungszustande zuweisen, welcher indirekt durch ein anderes in Erregung befindliches Centrum verursacht ist. Die Auffassung von Urbantschitsch

47) Urbantschitsch, Über Wechselbeziehungen der innerhalb eines Sinnesgebietes gesetzten Erregungen. Pflüg. Arch. Bd. 31, p. 280. 1883.

48) Urbantschitsch, Über das An- und Abklingen akustischer Empfindungen. Pflüg. Arch. Bd. 25, p. 323. 1881.

käme sonach ebenso wie diejenige von Tarchanow auf eine centrale Mischung der beiderseitigen Erregungen hinaus. Aber in der erstgenannten Arbeit scheint er doch nur durch die von einem Centrum auf das andere ausgeübten Reize die Erregbarkeit des letzteren gesteigert zu denken. Freilich ist auch diese Annahme durch das vorliegende Erfahrungsmaterial ebenso wenig sicher gestellt wie diejenige von Tarchanow. Eine so allgemeine wechselseitige Verstärkung, wie sie Urbantschitsch bemerkt haben will, ließe sich freilich nicht auf eine Summation oscillatorischer und auch kaum auf eine solche nichtoscillatorischer Erregungen zurückführen.

Stumpf[22]) leugnet zunächst auf Grund eigener Beobachtungen (II. 431), dass die Totalempfindung bei Einwirkung qualitativ verschiedener Töne und zwar auch solcher, welche, diotisch gleichzeitig gehört, nicht mehr als verschieden erkannt werden, eben für den Fall der Verteilung der betreffenden Gabeln vor die Ohren größere Intensität besitze als jede ihrer Komponenten. Aber auch bei weniger großem Qualitätsunterschiede beider Tonreize gesteht er für den Fall größerer Stärke derselben höchstens eine Verstärkung durch Interferenz zu (conf. pag. 190). Verglich er jedoch, immer auf einen schwachen Schall horchend, seine Stärke, indem er nach einander beide, eines und keines der Ohren verschlossen hatte, so fand er einen großen Unterschied zwischen dem ersten und zweiten, aber keinen nennenswerten zwischen dem zweiten und dritten Falle (II. 433). Bei minimalen akustischen Reizen vollends behauptet Stumpf, unter Anwendung der nämlichen Versuchseinrichtung, wie sie Tarchanow und Preyer benutzten, diotisch keine Verstärkung, und wenn der Ton monotisch unhörbar war, auch mit beiden Ohren nichts vernommen zu haben (II. 439). Aber selbst auf Grund der Beobachtungen dieser Autoren könne man nicht ohne weiteres auf eine gegenseitige Verstärkung beider

Erregungen schließen, da die Wahrnehmungsschwelle für zwei minimale Reize ja nicht gleich derjenigen für einen zu sein brauche. Stumpf weist ferner (II. 434) darauf hin, dass man, besonders wenn man einen schwachen Schall besser hören wolle, der Schallquelle nicht das Gesicht, sondern ein Ohr zuzuwenden pflege, was wohl nicht geschähe, wenn man diotisch besser hörte. Die Wahrnehmung einer Verstärkung müsse deshalb auf einer Täuschung beruhen, welche allerdings dadurch begünstigt werde (II. 431), dass der diotisch gehörte Schall voller und breiter, auch qualitativ reicher sei als der monotisch gehörte; zudem komme dabei das doppelte subjektive Raummoment in Betracht. Diese Täuschung verschwinde jedoch bei genauerer Beobachtung allemal (II. 442); selbst in dem oft wiederholten Versuche von Scott Alison, wo die Aufmerksamkeit so sehr dem einen Ohre zugewandt sei, dass man die Schallzunahme im anderen momentan in ersterem wahrzunehmen glaube, sei dies bei hinreichender Aufmerksamkeit auf den Ort der Tonanschwellung der Fall. Auch die Thatsache, dass die Schwebungen verteilter Gabeln, wenn man ihre Entfernungen von den Ohren variiert, immer dem jeweils stärkeren Tone zuzukommen scheinen (II. 490), obwohl sie doch (die Kopfknochenüberleitung vorausgesetzt) auf der Seite des schwächeren stärker sein müssen, möchte er in ähnlicher Weise auf »Gewohnheiten der Lokalisation« zurückführen. Der von Urbantschitsch für die Erscheinung der Mitübung gegebenen Erklärung gegenüber verhält sich Stumpf ziemlich ablehnend (I. 81 und II. 443); die betreffenden Erscheinungen möchte er wohl im wesentlichen nur »einer gesteigerten Fähigkeit in der Koncentration und Lenkung der Aufmerksamkeit« zuschreiben.

Es ist nun zunächst bemerkenswert, dass die Beobachtungen Stumpf's mit fast allen vorher beschriebenen in genauem Widerspruche stehen. Ja, da er oft die gleiche Versuchsanordnung

wie seine Vorgänger benutzte, hat es fast den Anschein, als lägen bei ihm andere subjektive Bedingungen der Beobachtung vor. Im Anschluss an die erste Beobachtung muss Stumpf natürlich auch gegen Urbantschitsch eine wechselseitige Verstärkung verschiedener Töne leugnen. Diejenige aber, welche er beim diotischen Hören verschiedener aber monotisch nicht unterscheidbarer Töne zugesteht, kann ja nicht, wie er es meint, von Interferenz herrühren (conf. pag. 191), müsste also doch wohl als eine ständige Verstärkung angesehen werden. Bei den schwierigen Versuchen mit minimalen Reizen kann uns jedoch der Widerspruch in den Resultaten verschiedener Autoren kaum wundern. Das von Stumpf gegen die diotische Verstärkung beigebrachte Argument aus der Praxis scheint mir ferner wenig zu besagen; genügte es doch schon zu deren Beweise, wenn der von vorn kommende Schall diotisch stärker vernommen wird als monotisch. Durch das Hinwenden des Ohres zur Schallquelle mag man auch wohl weniger ein Lauter- als vielmehr ein Deutlicherhören bezwecken, wahrscheinlich veranlasst durch die beim diotischen Hören auftretende Schwächung der die Klänge charakterisierenden Obertöne. Was den Alison'schen Versuch betrifft, so darf natürlich nach Stumpf die ganze Rektifikation der Wahrnehmung nicht etwa der Analyse einer Totalempfindung gleich gesetzt werden; denn an einer solchen dürften Intensitätsschwankungen einer schwächeren Komponente überhaupt nicht als solche bemerkt werden. Wo nun aber die Möglichkeit einer Lösung der Täuschung im Sinne Stumpf's negiert wird, hat man doch wohl, ehe man dies auf Rechnung einer geringeren Übung der Beobachter setzt, vielmehr unter Annahme einer individuellen Abweichung derselben eine Totalempfindung als Trägerin der Intensitätsschwankungen anzuerkennen. Was bei Stumpf diese Kombination beider Gehörseindrücke verhinderte, kann ja zugleich die Verstärkung

von Ohr zu Ohr unmöglich gemacht haben. Übrigens hat Stumpf das, worauf es hier besonders ankommt, dass nämlich, während er die Intensitätsschwankungen als in der Hauptsache dem leiseren Tone zugehörig erkannte, der lautere auch nicht die geringsten Intensitätsschwankungen zeigte, gar nicht ausdrücklich betont.

Schaefer[14]) (1890), welcher denselben Alison-Fechnerschen Versuch als ein Analogon zu den diotischen Schwebungen bei Verteilung von Gabeln verschiedener Intensität vor die Ohren betrachtet, scheint mit Stumpf die Auffassung zu teilen, dass infolge von Lokalisationstäuschung die Intermittenzen immer auf die Seite des stärkeren Tones verlegt werden.

Drückte er ferner[24]) (1890), ganz wie Preyer, ein Telephon an das eine Ohr, während er zugleich ein zweites gleich tönendes dem anderen langsam näherte, so verstärkte sich der Ton im verschlossenen Ohre.

Die Phasengleichheit der Schwingungen beider Telephonplatten macht zwar die Reizbedingungen in diesem Versuche konstanter und leichter kontrollierbar als bei Verteilung gleichgestimmter Gabeln, aber die gleichzeitige Variation von Intensitäts- und Phasendifferenz beeinträchtigt die Klarheit des Resultates. Mit Sicherheit ist nur anzunehmen, dass die Verstärkung durch Interferenz hier eine bedeutende Rolle spielt; denn der Einfluss, den hierauf schon die durch Annäherung des zweiten Telephons herbeigeführte Verstärkung der einen Komponente hat, wird durch die gleichzeitige Verkleinerung der Phasendifferenz beider Erregungen noch beträchtlich gesteigert.

Hier sei auch der schon früher besprochenen Mitteilung Schaefer's[25]) (1891) gedacht, dass sich bei schwacher akustischer

Reizung eines Ohres durch Verstopfung des anderen Verstärkung der Empfindung erzielen lasse.

Doch auch diese lässt sich schwerlich mit Sicherheit als eine ständige betrachten. Denn mag die durch den Kopfknochen übergeleitete Erregung mit der ersten — nach verstärkter Rückleitung auf demselben Wege — am Ausgangsorte oder central wieder zusammentreffen, die Phasendifferenz der beiden Komponenten würde nicht so beträchtlich sein, dass eine Verstärkung aus der eventuellen Interferenz nicht noch zu erwarten wäre.

Scripture[28]) (1893) fand übrigens in dem vorerwähnten Versuche jenes Resultat Schaefer's bei Anwendung minimaler Reize nicht bestätigt. — Die übergeleitete Erregung war hier jedenfalls zu schwach, um auf einem der oben genannten Wege noch eine merkliche Verstärkung der ersten zu bewirken.

Jüngst hat nun Urbantschitsch[29]) (1893) über denselben Punkt verschiedene weitere Versuche angestellt. Die Platten zweier Hörtelephone wurden vermittelst eines Neef'schen Hammers in Schwingungen versetzt. Dabei war die Intensität des erregenden Stromes durch ein Induktorium regulierbar, dessen Sekundärspule mittelst Annäherung an die Primärspule die Stromintensität proportional den Teilmengen einer hundertteiligen Skala zu steigern gestattete. Die Intensität des Stromes wurde bei den Versuchen immer auf einen solchen Wert eingestellt, dass die Tonempfindung eine ebenmerkliche war. Urbantschitsch fand auf diese Weise, dass in verschiedenen Fällen, besonders bei nicht zu großem Gehörsunterschiede beider Ohren, die Stromintensität beim monotischen Hören ungefähr doppelt so groß sein musste, um eine ebenmerkliche Tonempfindung zu erzielen, als beim diotischen Hören. War jedoch die Hörfähigkeit beider Ohren verschieden, und befand sich

sonach ein Schall, welcher zu beiden Ohren in gleicher Stärke gelangte, nur an der Empfindungsschwelle des schlechter hörenden Ohres, so brachte die Zuleitung des Schalles zu dem letzteren keine merkliche Stärkezunahme der Gesamtempfindung. Wurde aber in diesem Falle die Schalleinwirkung auf das bessere Ohr bis nahe an dessen Empfindungsschwelle abgeschwächt, so trat bei diotischer Schallzuleitung die Hörverstärkung wieder deutlich hervor. Hier erschien die Gehörswahrnehmung in der Regel nur in oder nahe dem besser hörenden Ohre*). Auch fand Urbantschitsch die Tarchanow'sche Beobachtung bestätigt, dass ein Ton, welcher zu schwach war, um noch monotisch gehört werden zu können, bei diotischer Zuleitung doch wahrnehmbar war. Er schließt aus diesem und den schon oben mitgeteilten Versuchsresultaten, dass das diotische Besserhören nicht darauf beruhe, dass die durch den Kopfknochen übergeleiteten Erregungen hierbei verstärkend auf die beiderseits direkt zugeleiteten Töne wirken, sondern dass es einer wechselsweise hervorgerufenen Perceptionssteigerung der akustischen Centren zugeschrieben werden müsse. Er stützt sich dabei noch auf verschiedene Fälle, in denen, da der Steigbügel gänzlich isoliert war, die in analogem Sinne wirkende Wechselbeziehung beider Organe, wie er meint, nur eine rein sensorielle gewesen sein kann. Die Tarchanow'sche Beobachtung findet natürlich hier die Deutung, dass eben selbst subliminale Erregungen eines

---

*) Als Ausnahme hiervon ist folgender Fall interessant; es fanden sich bei einer Versuchsperson rechts und links die bezüglichen Stromstärken 20 und 10 nötig, um dort ebenmerkliche Telephontöne zu erzeugen. Diotisch wurde schon bei der Stromstärke 7 ein Ton vernommen und zwar im schlechter hörenden Ohre. Die Erscheinung lässt sich einigermaßen wohl nur durch die Annahme erklären, dass die Einwirkung des rechten Organs auf das linke geringer war als die umgekehrte. (Die Übertragung der Schallwellen auf den Kopfknochen erfolgte vielleicht im rechten, schlechter hörenden Ohre in geringerem Maße als links.)

Organes schon anregend auf das Centrum der anderen Seite wirken können. Ein diotisches Besserhören fand sich übrigens nicht bei allen Versuchspersonen. — Letzere rekrutierten sich aber wohl auch meist aus Patienten.

Gegen das obige Verfahren der Messung der bezüglichen Empfindungsstärken lässt sich aber zunächst einwenden, dass die einfache Proportionalität der Stromstärke mit der Schallintensität einerseits und mit den Teilmengen der Skala andererseits wohl nicht ganz sicher gestellt ist. Ferner bietet, dächte ich, die Erklärung der obigen Erscheinungen ohne Ausnahme mit Hülfe der durch irgend welche schwingenden Teile der Gehörorgane vermittelten Überleitung der Schwingungen durch die Kopfknochen, zumal man ja auf das aus den Zahlen erhaltene hohe Maß der Verstärkung kein zu großes Gewicht legen darf, kaum irgend welche Schwierigkeiten. Was die Erscheinungen bei verschiedener Hörfähigkeit beider Ohren angeht, so lassen sich dieselben unter beiden Annahmen nur so verstehen, dass die Verstärkung, wenn sie an einer eben merklichen Erregung auftritt, eben merklicher ist, als wenn sie eine schon an sich starke Erregung betrifft. Wie nun in den vorliegenden Versuchen die Verstärkung sofort sehr deutlich auftritt, sobald nur die Verhältnisse der beiderseitigen Hörschärfen und Reizstärken zu einander reciprok sind, so wird sie auch umgekehrt bei größerem Stärkeunterschiede der centralen Erregungen fast gleich wenig merklich sein, wenn er von einer Verschiedenheit der Reizstärken, als wenn er von einer solchen der Hörschärfe beider Ohren herrührt. Zu der von Urbantschitsch gegebenen speziellen Erklärung der Verstärkung möchte ich endlich dasselbe bemerken, wie oben zu der Tarchanow'schen, dass sie nämlich, nach den mitgeteilten Erfahrungen zu schließen, selbst wenn die Interferenz für diese Erscheinung sicher unwesentlich wäre, immer noch nicht die einzig mögliche ist.

Endlich untersuchte Bloch[32]) (1893) das diotische Besserhören und seine Bedingungen. Er fand, dass zur Verstärkung der Klangempfindung, welche übrigens bei jeder Tonhöhe bemerkbar sein soll, die absolute Gleichheit der Tonhöhe beider Gabeln in der That nicht erforderlich sei, schränkte jedoch diese Behauptung von Urbantschitsch dahin ein, dass die Verstärkung in einem umgekehrten Verhältnis zur Größe des Intervalls beider Gabeln stehe; bei a^1 und h^1 konnte er nur eine schwache, bei a^1 und d^2 aber keine nennenswerte Verstärkung mehr bemerken; auch fand er keine erhebliche Intensitätssteigerung bei Verwendung von Stimmgabel und Geräusch, wohl aber bei unisonen Geräuschen. Ferner bestätigte er die Le Roux'schen Beobachtungen, wobei er sich zweier gleichgestimmter Gabeln bediente, — eine Versuchseinrichtung, auf deren Mängel schon mehrfach hingewiesen wurde. Auch Bloch's Empfehlung des binauralen Otoskops für solche Versuche möchte ich nicht unterstützen, wenigstens nicht in Fällen, wo es sich um irgendwelche Änderungen der objektiven Reizbedingungen handelt, sie beträfen denn nur die Intensität der Schallquelle selbst; jedes Verschließen der Mündungen oder Zusammendrücken eines der Hörschläuche behufs isolierter Reizung des anderen Organs, jede Verkleinerung des Lumens, ja selbst jede Krümmung der Schläuche setzt neue, ganz unkontrollierbare Bedingungen; denn an solchen Punkten findet immer totale oder partielle Reflexion der Schwingungen statt, die dann mit den im anderen Zweige verlaufenden interferieren. — In der Erklärung der Verstärkung stimmt Bloch im wesentlichen mit Urbantschitsch überein und sucht diese seine Auffassung durch ein schon früher[48]) (1881) von letzterem angestelltes Experiment zu beweisen. Urbantschitsch hatte nämlich von den Ohren aus zwei Hörschläuche zu einer Uhr geleitet und die Mündung des einen in solche Entfernung von

der letzteren gebracht, dass deren Ticken durch denselben eben nicht mehr wahrnehmbar war. War die Mündung desselben Schlauches nun zuerst geschlossen, so wurde das Ticken im anderen Ohre vernommen, es wanderte aber, wenn sie geöffnet wurde, von da aus etwas nach der Medianebene zu. Während Urbantschitsch nun hieraus den Schluss zog, dass zur Entstehung eines subjektiven Hörfeldes neben einer Wahrnehmung des Schalles einerseits auch schon eine unbewusste akustische Empfindung im anderen Ohre genüge, hält Bloch nur die eine Erklärung der Erscheinung für möglich, dass die für sich allein unwahrnehmbare Erregung des einen Organs unter der Einwirkung derjenigen des anderen über die Schwelle der Wahrnehmung gehoben werde.

Urbantschitsch vergaß freilich, dass die schwache Erregung eine andere ist, wenn sie allein, und eine andere, wenn sie gleichzeitig mit dem stärkeren Reize einwirkt. Aber angenommen, dass dieser Unterschied auch ausreiche, um wirklich aus der unbewussten Empfindung eine bewusste werden zu lassen, in welcher Weise er zu stande komme, ob durch centrale Wechselwirkung oder peripherische Interferenz, darüber lässt uns der obige Versuch doch völlig im Unklaren. Die Verstärkung freilich, welche Bloch bei qualitativ bis zu einem gewissen Grade verschiedenen Reizen beobachtete, hat mit der Interferenz der betreffenden Erregungen schwerlich etwas zu thun, sie müsste denn durch die Schwebungen dem Beobachter nur vorgetäuscht werden. Außerdem bliebe aber immer noch der Streit über die Art der centralen Wechselwirkung durchaus unentschieden.

Folgende Thatsachen (die Negation der in Rede stehenden Erscheinung von seiten Stumpf's möchte ich vorläufig als durch individuelle Abweichungen verursacht ansehen) ergeben sich

also aus den obigen Untersuchungen: Gelangen zwei Schalle von gleicher Intensität, Qualität und Phase verteilt zu beiden Ohren, so ist die resultierende Tonempfindung eine merklich stärkere als die jedem einzelnen Reize entsprechende. Diese Verstärkung, welche sich bei normalen Personen wohl immer und auch bei Ohrenkranken meistens gefunden hat, tritt bei jeder Qualität und jeder, selbst bei subliminaler Stärke der Erregungen auf. Ein sicheres Maß der Verstärkung konnte aber bisher nicht gewonnen werden. Intensitätsschwankungen eines der Töne werden, wenn derselbe durchschnittlich größere oder auch gleiche Stärke wie der andere besitzt, nach Fechner auf des ersteren Seite verlegt, ist dieser dagegen im Mittel schwächer als der Ton der ruhenden Gabel, so scheint die Stärke des letzteren zu schwanken. Ein Unterschied beider Töne hinsichtlich der Stärke, der Phase und wohl auch der Qualität schwächt je ceteris paribus entsprechend seiner Größe die Erscheinung ab, ebenso ein Unterschied der Hörfähigkeit beider Ohren. Wie sich bei einem Stärkeunterschied beider Reize die Verstärkung auf die Einzelerregungen verteilt, ist bisher nicht festgestellt worden; doch scheint nach dem zuletzt von Bloch herangezogenen Versuche diejenige Verstärkung, welche eine schwächere Erregung durch eine stärkere von der anderen Seite her erhält, relativ bedeutender zu sein als diejenige, welche sie selbst der stärkeren mitteilt. Bei Übung eines Ohres für einen bestimmten Prüfungston fand sich eine Mitübung des anderen von der Reizeinwirkung ausgeschlossenen Ohres, eine Erscheinung, die noch wenig erklärbar ist und deshalb auch noch nicht mit Bestimmtheit als hierher gehörig bezeichnet werden kann. Bei Schwerhörigen trat die Verstärkung oft sehr deutlich aber meist verspätet auf.

Dass die Verstärkung nun nicht einzig und allein auf Interferenz beruht, geht daraus hervor, dass dieselbe einerseits auch

bei entgegengesetzten Phasen übermerklicher Tonreize, und zwar in etwas geringerem Grade besteht, andererseits auch bei nicht zu großem Qualitätsunterschiede beider Erregungen bemerkt worden ist. Denn infolge der Interferenz müsste in jenem Falle eine Schwächung erwartet werden; gegen die zweite Beobachtung aber ließe sich höchstens der zuletzt gegen Bloch erhobene Einwand geltend machen. Ob die bei subliminalen Reizen beobachtete Verstärkung eine ständige sei, oder auf Interferenz zurückgeführt werden müsse, ist noch fraglich. Doch die Thatsache, dass diotische Schwebungen auch bei leisesten, ja subliminalen Erregungen bemerkt worden sind, und vielleicht auch die Beobachtung Schaefer's, dass bei seinem (pag. 192) eingehend besprochenen Versuche mit der Verstärkung immer eine Lokalisationsverschiebung einherging, machen die letztere Annahme wahrscheinlich, die erstere aber zum mindesten entbehrlich. Es ist nun weiter die Frage, ob die Verstärkung, so weit sie nicht aus Interferenz erklärt werden kann, auf einer Summation nicht oscillatorischer Erregungen oder auf irgend einer nur die Reizaufnahme begünstigenden Wechselwirkung beider Organe beruhe, wobei wir beides zunächst in weiterem Sinne nehmen möchten, als dies einerseits Tarchanow und Preyer, andererseits Urbantschitsch und Bloch thun. Lässt sich diese Frage nun auch nicht sofort entscheiden, soviel ist zunächst wohl sicher, dass bei der ersten Annahme, für welche man vielleicht sogar in der Kreuzung der Hörnerven, wenn diese überhaupt eine eigentliche Verbindung darstellt, eine nicht unpassende Stütze erblicken könnte, die sich addierenden Erregungen nicht qualitativ verschieden sein dürften, weil sonst besondere Mischungserscheinungen erwartet werden müssten. Dass die Verstärkung mit der Einführung einer qualitativen Verschiedenheit beider Erregungen nicht plötzlich, sondern allmählich verschwindet, ließe sich dabei wohl nur so erklären, dass jeder

Reiz neben einer entsprechenden auch eine Reihe qualitativ und intensiv zunehmend differenter Erregungen auslöst, eine Hypothese, gegen welche sich freilich manche Bedenken geltend machen lassen (conf. Stumpf[22]) I. 256 f.). Freilich auch für die zweite Annahme, nach welcher jeder Reiz die Perception anderer je nach dem Grade der Ähnlichkeit begünstigt, gestalten sich die Verhältnisse hinsichtlich der Erklärung kaum einfacher. Urbantschitsch freilich, der keine solche exklusive Perceptionssteigerung annimmt, sondern im Gegenteil[49]) (1888) behauptet, dass mit Erregung einer Sinnesempfindung sämtliche Sinnescentren erregt werden, entgeht wenigstens dieser Schwierigkeit; freilich dürfte diese Angabe auch noch nicht in ihrem ganzen Umfange als gesichert anzusehen sein.

b. Schwächung.

Auch Erscheinungen, welche auf eine Schwächung hinauslaufen, sind verschiedentlich beobachtet worden. Ähnliche Erscheinungen, welche aus einer Interferenz der Erregungen in entgegengesetzten Phasen resultieren, kommen hier natürlich nicht in Betracht.

Scott Alison[39]) (1859) bemerkt, dass jeder Schall, sobald er nur in etwas verschiedener Intensität zu beiden Ohren gelangt, immer nur in dem stärker erregten Ohre gehört wird, während das andere völlig taub für denselben zu sein scheint. Dagegen verhindere schon die geringste qualitative Verschiedenheit der beiderseitigen Erregungen diese Unterdrückung der schwächeren.

Fechner[7]) (1860) meint, wenn wir in jenem Versuche den Ton allein in dem stärker erregten Ohre zu hören glauben, so

---

49) Urbantschitsch, Über den Einfluss einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen. Pflüg. Arch. Bd. 42, p. 104. 1888.

beruhe das jedenfalls auf Täuschung; die Verstärkung, welche die Gesamtempfindung durch den schwächeren Schall erfahre, bezeuge, dass der letztere durch den stärkeren Schall durchaus nicht aus der Wahrnehmung verdrängt sei.

Wenn aber selbst subliminale Erregungen verstärkend wirken können, wie dies ja von verschiedenen Autoren konstatiert worden ist, so kann doch von der Verstärkung nicht ohne weiteres auf diotische Wahrnehmung geschlossen werden.

Politzer[50]) (1860) entnahm aus Beobachtungen an einseitig Schwerhörigen die Erfahrung, dass »das Überwiegen einer Tonempfindung in einem Ohre die Empfindung im anderen trotz gleichstarker Zufuhr von Schallwellen zu beiden Ohren gänzlich verdrängen kann«.

Schaefer[14]) (1890) sagt, bei Verteilung zweier unisoner Gabeln, einer lauten und einer leisen, je vor ein Ohr werde nur der Ton der ersteren gehört. Jedoch verraten sich Intensitätsänderungen des schwächeren Reizes sowohl durch Stärkeschwankungen als auch, wiewohl weniger deutlich, durch Lokalisationsänderung der Gesamtempfindung[25]) (1891).

Aus der letzteren Beobachtung ist nun allerdings mit Sicherheit zu schließen, dass in dem betreffenden Falle keine Unterdrückung der schwächeren Erregung durch die stärkere erfolge, womit aber natürlich nicht etwa gesagt ist, dass hier nun auch keine Schwächung von Ohr zu Ohr vorliege. Für diese Extreme (Mangel jeder Schwächung — völlige Unterdrückung der Wahrnehmung) lässt sich ja natürlich durch derartige Lokalisationsbeobachtungen überhaupt kein positiver Nachweis erzielen. Ja nicht einmal zu einer definitiven Negation des ersteren Extrems

50) Politzer, Untersuchungen über die Schallfortpflanzung und Schallleitung im Gehörorgane im gesunden u. kranken Zustande. II. Teil. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 1, p. 318. 1864.

oder, was dasselbe ist, zur Feststellung einer Schwächung reichen die Beweisstücke aus; denn während die dem letzteren Extreme entsprechende Lokalisation als eine schlechthin laterale für die Vergleichung mit der wirklich auftretenden genügend bestimmt ist, würde die dem ersteren entsprechende Lokalisation dazu eine schwerlich erreichbare Erweiterung ihrer Bestimmtheit verlangen.

Stumpf[22]) behauptet (II. 435), dass zwei getrennt zu beiden Ohren geleitete Töne, mögen sie gleiche oder ungleiche Tonhöhe besitzen, sich keinesfalls gegenseitig schwächen. In den Zusätzen (II. 562) citiert er dagegen eine Mitteilung Schaefer's, nach welcher bei Verteilung verschiedener Gabeln an beide Ohren doch, wenn auch erst bei bedeutendem Stärkeunterschiede beider Töne, eine Unterdrückung des schwächeren zu erfolgen scheint. Leider ist über die Qualitätsdifferenz der verwendeten Töne nichts weiter angegeben; doch wird es nicht unrichtig sein, die widersprechende Beobachtung Scott Alison's, der mit Glocke, Uhr und Stimme experimentierte, aus einer größeren Qualitäts- oder vielleicht geringeren Intensitätsdistanz der betreffenden Töne zu erklären.

Urbantschitsch scheint[29]) (1893) geneigt, auch das alternierende Verhalten der Hörfunktion, wie es besonders im erhöhten akustischen Erregungszustande auftreten soll, sowie die pathologischen Transferterscheinungen bei Hysterischen hierher zu beziehen. Er giebt freilich[51]) (1882) für diese wohl zuerst von Charcot entdeckten und von Rumpf (1879) sowie von ihm selbst in Gemeinschaft mit Rosenthal[52]) (1880) u. A. weiter

---

51) Urbantschitsch, Über subjektive Schwankungen der Intensität akustischer Empfindungen. Pflüg. Arch. Bd. 27, p. 435. 1882.

52) Urbantschitsch, Beobachtungen über centrale Akustikusaffektionen.. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 16, p. 171. 1880.

untersuchten Erscheinungen folgende Erklärung: »Bei binotischer*) Einwirkung eines Schallreizes kommt sämtlichen akustischen Centren ein bestimmtes Empfindungsmaß zu, dessen Verteilung auf beide Gehörorgane mannigfachen Veränderungen unterliegt, so dass die Perceptionsfähigkeit bald auf dem einen, bald auf dem anderen Ohre vorherrscht, bald wieder auf beide Ohren gleichmäßig sich erstreckt«. Wenn ich recht verstehe, schreibt auch Stumpf[22] (II. 444), freilich in etwas allgemeinerer Form, die gleichzeitige Begünstigung der Empfindung einerseits und Hemmung derselben andererseits einer gemeinschaftlichen Ursache zu und weist dagegen die Annahme eines Antagonismus der beiderseitigen Empfindungen, für welchen sonst nichts spreche, entschieden zurück.

In der That scheint mir die unmittelbare Ursache solcher Vorgänge, wie sie zudem oft unter Konstanz der äußeren Bedingungen auftreten, bei der gleichmäßigen Inanspruchnahme und bei der regelmäßig entgegengesetzten Beteiligung, aber doch nicht unterschiedlichen Disposition beider Organe hinsichtlich desselben Vorganges kaum in diesen selbst, sondern wohl nur in der Funktionsstörung eines Apparates gesucht werden zu können, der in gleicher Weise mit beiden Organen in Verbindung steht und so eine Art passiver Beziehung zwischen ihnen bedingt. Wie dem nun aber auch sein mag, keinesfalls kann, wie bei den übrigen in dieser Arbeit behandelten Erscheinungen, die Funktion der Gehörorgane als die conditio sine qua non dieser Vorgänge gelten, weshalb ich sie auch den ersteren nicht anreihen möchte. Dasselbe gilt von der Erscheinung, über welche Magnus[53] (1880) berichtet, dass nämlich das Hörver-

---

*) Übrigens wie auch »monaural« ein Barbarismus, der doch besser vermieden würde: unaural-binaural oder monotisch-diotisch.

53) Magnus, Besprechung des Lehrbuchs der Ohrenheilkunde von Urbantschitsch. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 16, p. 276. 1880.

mögen eines Ohres, welches lange Zeit herabgesetzt war, sich oft steigert, wenn das des anderen etwa infolge einer Entzündung abnimmt, mag die von Magnus gegebene und von Stumpf[22]) (II. 444) befürwortete Deutung derselben dahin, dass der früher schwächere und deshalb vernachlässigte Eindruck nachmals durch Koncentration der Aufmerksamkeit zum Bewusstsein komme, zutreffen oder nicht.

Wenn man nun überhaupt bei dem geringen Bestande der hierher gehörigen Beobachtungen von einem Resultate derselben reden darf, so ist es zunächst wohl dies, dass sich bei qualitativ gleichen Erregungen eine mehr als bloß scheinbare Unterdrückung bisher nicht gefunden hat. Dagegen scheint in der That eine solche bei qualitativ verschiedenen Erregungen möglich zu sein. Freilich sind damit die Bedingungen der in Rede stehenden Erscheinung noch nicht genügend gekennzeichnet. Eine Betrachtung des Verhältnisses der letzteren Erscheinung zu der oben besprochenen dürfte jedoch in diesem Punkte von Nutzen sein. Wie haben wir uns aber dieses Verhältnis zu denken? — Wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, dass wir in den empfundenen Werten nur die Differenzen von Vorgängen vor uns haben, die aus verschiedenen Quellen stammen, so liegt es doch näher, anzunehmen, dass diese Erscheinungen auf derselben Grundlage beruhen und in einander übergehen, und dass sie bezüglich ihres Maßes beide von denselben Faktoren, nämlich von der Intensitätsdifferenz und eventuell der Qualitätsdistanz der beiden Erregungen abhängen. Wie dem nun aber auch sein mag, jedenfalls müssen sich die den empfundenen Gegensätzen entsprechenden Bedingungen ebenso wie jene ausschließen. Dies kann aber auf zweierlei Weise geschehen; nämlich erstens können sie sich als verschiedene Intensitätsverhältnisse der jeweils modificierten zur modificierenden Erregung darstellen, und zwar in der Weise, dass von einem

bestimmten, den Indifferenzpunkt bezeichnenden Verhältniswerte aus allen dem Werte 1 angenäherten Verhältnissen eine Verstärkung, den anderen eine Schwächung der betreffenden Erregung entspricht. Jener Ausgangswert wird dabei aber nur ein echter Bruch sein können; denn von einer Schwächung der stärkeren Erregung durch die schwächere kann jedenfalls nicht die Rede sein. Zweitens können sich diese Bedingungen durch die Qualitätsdistanz der beiden Erregungen unterscheiden, und zwar so, dass von einem gewissen Werte aus gerechnet kleineren Distanzen beiderseits Verstärkung, größeren Schwächung entspricht. Eine solche Umkehrung des Einflusses einer stärkeren Erregung auf eine schwächere, wie sie die erste Annahme verlangen würde, hat bisher nicht konstatiert werden können. Monotisch scheint allerdings Urbantschitsch[47]) 1883 ähnliches beobachtet zu haben; er giebt an, ein leiser Ton werde verstärkt gehört, sobald ein zweiter lauterer demselben Ohre zugeführt werde, nur dürfe letzterer den ersten nicht so stark übertreffen, dass Unterdrückung der schwächeren Schallwahrnehmung erfolge. Lässt sich nun aber die erste Annahme auch nicht ohne weiteres abweisen, so scheint doch die zweite eher mit den bisher vorliegenden Erfahrungen im Einklang zu stehen. Während nämlich die Verstärkung, welche bei gleicher Qualität der beiden Erregungen am beträchtlichsten ist, mit dem Wachsen der Distanz (wenigstens nach Bloch's Angabe) sehr rasch abnimmt, scheint umgekehrt bei etwas größeren Qualitätsdistanzen eine gegenseitige Schwächung der Erregungen Platz zu greifen.

Für den Fall einer einheitlichen Grundlage der beiden Erscheinungen müssen wir natürlich auch eine entsprechende Erklärung derselben erwarten. Von den beiden schon oben für die Verstärkung angegebenen Erklärungen dürfte nun aber die Tarchanow'sche der Ausdehnung auf die Verdrängungserscheinungen kaum fähig sein, da hier schwerlich von einer

Summation entgegengesetzt gerichteter Bewegungen die Rede sein kann. Somit bliebe nur folgende, der von Urbantschitsch und Bloch befürworteten ähnliche Deutung: Beruht die Verstärkung auf einer die Reizaufnahme begünstigenden, so die Schwächung auf einer dieselbe hemmenden Wechselwirkung der in Funktion befindlichen Organe. Berücksichtigt man weiter, dass monotisch ganz ähnliche Erscheinungen von Verstärkung und Schwächung qualitativ weniger bezüglich mehr differenter Erregungen beobachtet worden sind, erstere wohl auf einer synergischen Steigerung, letztere auf einer kompensatorischen Herabsetzung der Leitfähigkeit ihrer Bahnen beruhend, so liegt es ziemlich nahe, die oben besprochenen Erscheinungen des diotischen Hörens einfach aus einer funktionellen Synergie beider Organe zu erklären.

Über die lokalen Bedingungen der obigen Beziehungserscheinungen nun lassen sich mancherlei Vermutungen aufstellen. Acceptieren wir die zuletzt gegebene, durch die größere Wahrscheinlichkeit gestützte Deutung derselben, so müssen sich deren Bedingungen als Vorrichtungen darstellen, welche Wechselwirkungen der beiden Erregungen, ohne sie selbst zu leiten, vermitteln*). Zunächst könnte man nun hier an eine durch reflektorische Innervation der Binnenmuskeln der Gehörorgane vermittelte Einwirkung denken. Wir wissen, dass die Kontraktion dieser Muskeln keineswegs ohne Einfluss auf die Tonwahrnehmung ist; so schwächt nach Kessel[54]) (1891) eine Kontraktion des Tensor vorwiegend die Töne des unteren Hörbereichs

*) Für die Existenz solcher Vorrichtungen spricht vielleicht auch die von Stumpf[22]) (II. 443) citierte Beobachtung von Gradenigo, dass bei Galvanisierung des einen Ohres sich zwar ein Einfluss auf das andere bemerkbar machte, der sich aber nicht in einer Schallempfindung desselben äußerte.

54) Kessel, Über die vordere Tenotomie. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 31, p. 131. 1891.

(8—64 Schwingungen), während umgekehrt eine solche des Stapedius besonders die des oberen jenseits c^4 verstärkt. Für den Tensor scheint nun in der That durch Stricker[55]) (1886), der am Hunde bei akustischer Reizung des einen Ohres eine Reaktion des tensor tympani in dem anderen bemerkte, die Rolle eines Vermittlers für Intensitätsmodifikationen von Ohr zu Ohr erwiesen. Seiner Innervierung soll wohl die Reflexbahn dienen, welche im mittleren Grau der vorderen Vierhügelregion entspringend nach der medulla oblongata zu absteigt; denn nach Durchschneidung der letzteren fiel jene Reaktion weg*). Traf aber in obigem Versuche der akustische Reiz, was sehr wahrscheinlich ist, nicht blos eines der Ohren, so vermag jenes Resultat nur von neuem die Thatsache einer monotischen, nicht aber die einer gekreuzten Reflexbeziehung zwischen akustischem Reiz und Tensorkontraktion zu bestätigen. Aber die Hypothese der „binauriculären Reflexe" kann noch andere Autoren zu ihren Vertretern zählen, so namentlich

*) Näheres über die Wirkung des akustischen Reizes auf den Tensor der anderen Seite kann bisher höchstens aus Beobachtungen am gleichseitigen erschlossen werden. Hiernach soll die Kontraktion des Tensor bei Schallreizen verschiedener Höhe verschieden stark sein (Mach[56]) 1863), auch noch nach Loslösung desselben von der Sehne erfolgen (Hensen[57]) 1880) und so lange wie der Reiz selbst anhalten (Bockendahl[58]) 1880). Aber Secchi[59]) (1890) fand diese Reaktion des Tensor in seinen Versuchen nur bei Reizen, welche die Aufmerksamkeit des Tieres erregten.

55) Stricker, Wiener medicinische Presse. 1886, p. 650. (Citiert nach Stumpf, Tonpsychologie, Bd. II. p. 445. Anm.)

56) Mach, Zur Theorie des Gehörorgans. Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. math.-naturwiss. Kl. Bd. 48, Abt. 2, p. 283. 1863.

57) Hensen, Physiologie des Gehörs; in Hermann, Handbuch der Physiologie. Bd. III. 2, p. 64 und p. 450. 1880.

58) Bockendahl, Über Bewegungen des M. tensor tympani nach Beobachtungen beim Hunde. Dissertation. Kiel 1880.

59) Secchi. Physiologische Untersuchungen über das mittlere Ohr. Vortrag. Bologna 1890. (n. R.)

Gellé[60]) (1884), der daraus die Erscheinung erklärt, dass ein durch Gummischlauch einem Ohre zugeleiteter Ton jedesmal schwächer empfunden wird, wenn man die Luft im Gehörgang des anderen mittelst Gummiballons komprimiert. Auch er konstatierte bei Läsionen des Cervicalmarkes[61]) (1888) öfter den Wegfall der Schwächung. Wie freilich eine bloße Drucksteigerung im Gehörgang die Reflexe auslösen kann, ist mir nicht recht verständlich. Auch giebt Bloch[62]) (1894) unter Hinweis auf die Unzulänglichkeit der klinischen Erfahrungen Gellé's eine andere und, wie ich meine, ganz annehmbare Erklärung der obigen Erscheinung, indem er, auch gestützt auf die Erfahrung, dass letztere ebenso bei Zuleitung des Schalles durch den Kopfknochen erfolge und dass dabei der Tonort nach dem freien Ohre zu wandere, hier eine Auslöschung des übergeleiteten Tones annimmt, womit dann zugleich die Verstärkung wegfalle, welche dem binauralen Hören eigen sei. Auf vermehrte akustische Beihülfe von der anderen Seite ist vielleicht auch die Perceptionssteigerung, welche Urbantschitsch[29]) (1893) in pathologischen Fällen öfter an dem gesunden Ohre nach operativem Eingriff in den Schallleitungsapparat des kranken nachweisen konnte und aus der Beseitigung der in einer reflektorischen Kontraktion bestehenden Wirkung der Erkrankung auf die Binnenmuskeln des gesunden Ohres erklären möchte, zurückzuführen, natürlich vorausgesetzt, dass die Hörverbesserung im kranken überhaupt oder wenigstens für die Kopfknochenleitung sofort erfolgt. Die Einwirkung von Erregungen des einen Ohres

---

60) Gellé, Über funktionelle Synergie beider Ohren; Studien über die Accommodation der Ohren. Revue mens. d'Otol. etc. Mai 1884. (n. R.)

61) Gellé, Des réflexes auriculaires; d'un centre réflexe oto-spinal, de son siège dans la moëlle cervicale. Annales des maladies de l'oreille. 1888. No. 9. (n. R.)

62) Bloch, Die Methode der centripetalen Pressionen und die Diagnose der Stapesfixation. Zeitschr. f. Ohrenheilk. Bd. 25, p. 113. 1894.

auf den Tensor und vermittelst dessen auf akustische Reize des anderen scheint mir nach alledem noch nicht mit Sicherheit angenommen werden zu können. Aber selbst für den Fall, dass dieselbe sich bestätigte, würde sie doch schwerlich zur Erklärung der oben besprochenen ständigen Intensitätsmodifikationen ausreichen, da sie ja wohl nur eine Schwächung und auch diese nur in tieferen Lagen des modificierten Reizes bedingen könnte. Urbantschitsch behauptet übrigens[29] (1893), jene Intensitätsmodifikationen auch in Fällen beobachtet zu haben, wo die Muskelkontraktion keinen Einfluss auf die Reizleitung haben konnte. Aber welche andere Verbindung beider Gehörorgane sollen wir als Grundlage jener Erscheinungen ansehen? Urbantschitsch ist wohl auf Grund der Beobachtung, dass eine Erregung der sensiblen Trigeminusfasern der einen Seite auf sämmtliche Sinnesempfindungen auch an der anderen nicht gereizten Seite verstärkend einwirke, zu der Annahme geneigt, dass derartige Beziehungen durch den Trigeminus vermittelt werden. Vielleicht lässt sich auch die Kreuzung gewisser Akustikuszweige oder ihre verschiedentliche Verbindung durch Kollateralen zumal in der Vierhügelgegend, oder endlich ihre beiderseits stattfindende Vereinigung in der Großhirnrinde als Grundlage der ständigen Intensitätsmodifikationen in Anspruch nehmen. Ob aber, bezüglich inwieweit die eine oder die andere dieser möglichen Annahmen zutreffend sei, ist natürlich nur durch erneute anatomische und physiologische Untersuchungen zu entscheiden.

B. Die Modifikationen der Qualität.

Über diese Klasse von Beziehungserscheinungen ist nicht viel zu sagen, da nur ganz vereinzelte Beobachtungen von Qualitätsmodifikationen vorliegen. Doch lassen sich wohl mit

Sicherheit zwei Arten derselben unterscheiden, nämlich Modifikationen der Klangfarbe und der Tonhöhe; jene lassen sich aller Wahrscheinlichkeit nach auf Intensitätsmodifikationen der ersten Art, diese vielleicht auf solche der zweiten zurückführen.

1. Modifikationen der Klangfarbe.

Von einer derartigen Erscheinung berichtet Thompson[12]) (1877). Er vernahm nämlich bei Schwebungen immer in dem Augenblicke, wo die Phasen der beiden getrennt zu den Ohren geleiteten Töne gerade entgegengesetzte waren, neben dem Grundtone ganz schwach dessen Oktave, und bemerkt dazu, dass sich dieselbe nicht etwa schon unter den Partialtönen der Gabeln befunden habe.

Wenn dem wirklich so ist, nimmt uns die Erscheinung doch einigermaßen wunder und erinnert an die Seebeck'sche Annahme, dass für den Fall einer centralen Interferenz bei alternierenden Impulsen die Oktave zu erwarten sei. Da aber hier die Oktave nur nebenbei auftritt, so müssten wir schon annehmen, dass die Impulse mit sehr geringer oder doch sehr verschiedener Intensität zur Interferenz gelangen. Einfacher freilich erklärt sich die Sache unter der Annahme, dass die Oktave sich bei diesem Versuche schon in den Stimmgabelklängen befunden habe; durch die Interferenz noch verstärkt konnte sie dann samt den übrigen geradzahligen Partialtönen vor den geschwächten ungeradzahligen sehr wohl deutlich hervortreten. Dass sie aber selbst bei Untersuchung der Gabelklänge mit Hülfe von Resonatoren leicht der Beobachtung entgehen kann, bestätigt Stumpf[22]) (II. 233 f.), welcher die Oktave in solchen Fällen trotzdem noch mit einer nahezu gleichgestimmten Hülfsgabel oder mit einer Quincke'schen Interferenzröhre, die den Grundton auslöschte, sicher nachweisen konnte.

Urbantschitsch[47]) (1883) beobachtete bei seinen Versuchen über die binaurale Hörverstärkung, dass jeder Ton beim diotischen Hören nicht nur stärker, sondern auch voller sei als beim monotischen, und einem Orgelton ähnlich klinge.

Letzteres könnte darauf hindeuten, dass hierbei die hohen und ziemlich starken Obertöne der Stimmgabeln zurücktreten oder verschwinden, was freilich wohl nur infolge von Interferenz möglich wäre. Das Zustandekommen einer solchen durch Luftüberleitung der Töne von einer Seite zur anderen kann allerdings in jenen Versuchen auch nicht als ausgeschlossen gelten.

Auch Bloch[32]) (1893) bemerkte, wie Urbantschitsch, dass der Ton zweier gleichgestimmter Gabeln monotisch gehört viel dünner erschien als beim diotischen Hören, wo er außerordentlich voll und rein klang. Gleiche Phase beider Töne schien aber im letzteren Falle Voraussetzung zu sein; denn bei entgegengesetzter fand er gleich Thompson den Ton rauh, schnarrend und leicht näselnd, doch konnte er diesen Qualitätsunterschied nur innerhalb der Region zwischen c und c^2 (128 bis 512 Schw. p. s.) deutlich erkennen. Ähnlich wie der Grundton auslischt und die Obertöne scharf hervortreten — (doch nicht dann!) —, wenn man die in entgegengesetzten Phasen schwingenden Telephone durch einen T-förmigen Gummischlauch mit einander verbindet, meint er, vollziehe sich auch dort die analoge Erscheinung: »beim binotischen Hören tritt zwar dieses Auslöschen des Grundtones nicht ein, dafür aber die Änderung der Qualität.«

Ob bezüglich in welcher Weise sich Bloch trotz dieser Abweichung die Analogie erhalten denkt, ist aus seiner Ausführung freilich kaum ersichtlich. Da Bloch seine Versuchsanordnung der Thompson'schen nachgebildet hat, so ist wohl

anzunehmen, dass auch bei ihm jeder Ton nur zu einem Ohre gelangte.

Versuchen wir es nun, diese Modifikationen der Klangfarbe beim diotischen Hören gegenüber dem monotischen, da dieselben ja auch in ihren Besonderheiten von der Phasendifferenz des Reizes in beiden Ohren abhängig erscheinen, überhaupt aus Interferenz der beiderseitigen Erregungen zu erklären (und auf andere Weise dürfte dies schwerlich gelingen), so greift folgende Überlegung Platz: Wenn in einem Ohre ein Einzelklang mit einem anderen von gleicher Wellenform in gleicher Phase interferiert, so erscheinen alle Partialtöne desselben, wenn in entgegengesetzter (der Grundtöne), nur die geradzahligen verstärkt, die ungeradzahligen aber geschwächt, wenn endlich in absolut entgegengesetzter, — ein Fall, der von Bloch mit Hülfe Bell'scher Telephone verwirklicht wurde, — so erscheinen alle Partialtöne geschwächt oder ausgelöscht. Die geringste Phasenverschiebung der Grundtöne von hier aus bewirkt nun eine mit der Höhe der Partialtöne wachsende Abnahme und Umkehrung ihrer Intensitätsmodifikationen, wie sie durch die Interferenz (der Grundtöne) in genau gleichen bezüglich entgegengesetzten Phasen herbeigeführt wurden. Bei welchem Partialtone diese durch die Phasenverschiebung der Grundtöne hervorgerufene Änderung ein Maximum erreicht, hängt natürlich (eine einzige Schallquelle vorausgesetzt) durchaus von der Längendifferenz beider Wege der Klangwellen bis zum Interferenzorte ab; es ist derjenige, dessen halbe Wellenlänge dem Werte dieser Differenz am nächsten kommt. Die Klangfarbe beim diotischen Hören eines in gleichen bezüglich entgegengesetzten Phasen zu den Ohren geleiteten Einzelklanges entspricht nun — und dies ist ja besonders deutlich bei der ersten Art der Zuleitung bemerkt worden — nicht derjenigen, welche nach einer Interferenz der beiderseitigen Erregungen unter eben diesen, sondern

unter etwas von ihnen abweichenden Phasendifferenzen zu erwarten ist. Sonach ist wohl der Schluss gestattet, dass beim diotischen Hören die beiden Schallerregungen trotz ihrer genau gleichen beziehentlich entgegengesetzten Phasen bei der Zuleitung doch mit einer um ein Geringes von *O* oder $^1/_2 \lambda$ (des Grundtones) verschiedenen Phasendifferenz zur Interferenz gelangen müssen, d. h. also der Weg, den die beiden Erregungen und zwar (vorausgesetzt, dass jede nur zu einem Ohre gelangt) innerhalb des Organismus bis zu diesem Interferenzorte zurückzulegen haben, ist für die eine länger als für die andere. Aber für welche länger und für welche kürzer? — Man sieht, es bleibt nichts übrig, als zwei Interferenzorte anzunehmen, die beide und zwar auf verschieden langen Wegen von jeder der beiden Erregungen erreicht werden. Hiermit wird zugleich unter den beiden Möglichkeiten hinsichtlich der örtlichen Verhältnisse der Interferenzvorgänge, auf welche wir oben (pag. 207) aus der geringeren Stärke der diotischen Schwebungen geschlossen haben, zu Gunsten der zweiten entschieden. Dass die Analogie zwischen den gesuchten und den von den Anhängern der Kopfknochenleitung gebilligten lokalen Bedingungen der diotischen Interferenzvorgänge hierdurch eine weitere nicht unwichtige Stütze erhält, bedarf wohl kaum erst der Erwähnung.

2. Modifikationen der Tonhöhe.

Urbantschitsch[17]) (1883) will beim diotischen Hören eines Tones mit der Verstärkung und Klangfarbenänderung auch immer eine deutliche Vertiefung desselben um ca. $^1/_8$ Ton bemerkt haben, erklärt die letztere jedoch im Anschluss an **Mach** nur für eine scheinbare.

In der That könnte das Zurücktreten der Obertöne den Eindruck der Vertiefung erwecken, wenn die letztere nicht auch

wirklich aus der Verstärkung resultiert, etwa in der Art, wie dies Schwarz[63] (1892) annimmt.

Eine andere sehr interessante Art von Tonhöhenänderung hat Stumpf[22]) beobachtet. Verteilte er (II. 326) zwei wenig verschiedene c^2-Gabeln vor die Ohren, so hatte er öfters den Eindruck, als höre er einen mittleren Ton, obschon meist der tiefere vorherrschte. Dementsprechend bemerkte er bei Entfernung der tieferen Gabel eine entschiedene Erhöhung der Tonempfindung, seltener dagegen eine Vertiefung derselben bei Entfernung der höheren Gabel. Mit Vergrößerung des Intervalls beider Töne, wobei natürlich jene Wahrnehmung eines mittleren Tones verschwand, schien ihm die Deutlichkeit einer solchen Höhenannäherung beider Töne eher zu wachsen als abzunehmen. So vernahm er z. B. (II. 397) den Ton einer *e*-Gabel, die vor das eine Ohr gehalten wurde, bei Zuleitung eines *A* zum anderen Ohre deutlich vertieft, und umgekehrt *A* erhöht, sobald das andere Ohr *e* hörte. Dasselbe fand statt bei Anwendung von Gabeln, welche die Quinte *c*-*g*, ja selbst die Septime *A*-*g* gaben; nur trat in letzterem Falle die Erscheinung vornehmlich an *g*, weniger deutlich an *A* auf. In höheren Lagen aber ist dieselbe nicht mehr zu beobachten, weil, wie Stumpf meint, »hier Veränderungen merklicher und somit auch die Konstanz deutlicher ist.« Auch verschwinde die Erscheinung, »wenn man seine Aufmerksamkeit durch den neuen Ton nicht ablenken lässt, sondern auf den alten koncentriert hält.« Er führt deshalb die obigen Erscheinungen auf bloße Urteilstäuschungen zurück.

Das oben bemerkte Vorherrschen des tieferen Tones im Zusammenklange beider kann vielleicht nicht unpassend als ein

63) Schwarz, Das Wahrnehmungsproblem vom Standpunkte des Physikers, des Physiologen und des Philosophen. § 15. Leipzig. 1892.

Analogon zu der von Urbantschitsch beobachteten Vertiefung beim diotischen Hören eines Tones aufgefasst werden.

Die Stumpf'sche Deutung seiner Beobachtungen scheint mir aber nicht recht zufriedenstellend, während ich zugleich eine physiologische Erklärung hier keineswegs für ausgeschlossen halte. Der folgende Versuch einer solchen will aber darum nicht mehr sein als eine Vermutung.

Wir glaubten oben den auf ständige Intensitätsmodifikationen bezüglichen Erfahrungen die Thatsache entnehmen zu können, dass die bei gleicher Qualität der beiden Erregungen ziemlich beträchtliche Verstärkung mit dem Wachsen ihrer Distanz abnimmt und sich allmählich in eine Schwächung verwandelt, die sich dann erst mit weiterer Vergrößerung des Intervalls langsam verliert. Löst nun jeder der beiden Reize neben einer entsprechenden Erregung, welche als stärkste zugleich die Höhe der korrespondierenden Empfindung bestimmt, eine Reihe qualitativ und intensiv zunehmend differenter Erregungen aus (eine Annahme, die freilich noch etwas hypothetisch ist), so wird beim Auftreten derartiger Intensitätsmodifikationen, gleichviel, ob sie in Verstärkung oder Schwächung bestehen, sobald nur der modificierende Reiz alle Teile bis zur Haupterregung des modificierten mehr verstärkt bezüglich weniger schwächt als diese selbst, ihre Rolle auch von einer dem modificierenden Reize qualitativ näher stehenden Teilerregung übernommen werden.

Das Fehlen dieser Tonhöhenänderung bei Anwendung höherer Töne*) scheint mir aber ebensowenig, wie ihr Verschwinden bei Koncentration der Aufmerksamkeit auf einen der Töne einen triftigen Einwand gegen diese physiologische Erklärung der Erscheinung zu bilden; denn einerseits sind mit der Annahme jener

*) In der zweigestrichenen Oktave wurde sie übrigens noch bemerkt.

doch keineswegs schon sämtliche Bedingungen für die Deutlichkeit der letzteren fixiert, andererseits halte ich das Hervorheben eines sonst zurücktretenden Tones auch nicht für eine ungewöhnliche Thätigkeit der Aufmerksamkeit.

C. Die Modifikationen der Lokalisation.

Um etwaigen zu weit gehenden Erwartungen zu begegnen, möchte ich gleich eingangs dieses Abschnittes darauf hinweisen, dass hier nur Besonderheiten der Lokalisation beim diotischen Hören, keineswegs aber dessen Leistungen für die Raumwahrnehmung zur Besprechung gelangen werden, was ja auch schon die Fassung des Themas dieser Arbeit ausschließt.

Mögen auch vereinzelte Bemerkungen über eine besondere Lokalisation diotischer Schallwahrnehmungen namentlich von Ohrenärzten schon früher gemacht worden sein*), so verdanken wir doch meines Wissens erst Purkyně[64] (1860) eine genauere Untersuchung der hier zu besprechenden Erscheinung. Er bemerkte, dass ein Ton oder ein Geräusch, beiden Ohren vermittelst zweier Hörrohre, deren Enden nahe an einander gebracht waren, zugeleitet, eine einheitliche Empfindung gab, die in dem Hinterkopf lokalisiert wurde. Sprachen ferner zwei Personen zugleich in einen Trichter, von welchem Röhren zu den beiden Ohren führten, so verschmolzen gleiche Laute, während verschiedene an eben derselben Stelle deutlich unterschieden gehört wurden; öfter

*) Auch bei Fechner[7] (1860) scheint sich in der Angabe, dass man, gleiche Empfindlichkeit beider Ohren vorausgesetzt, bei gleich starker Reizung derselben mit dem gleichen Tone keine Veranlassung habe, den letzteren mehr auf das eine oder andere Ohr zu beziehen, eine solche Beobachtung anzudeuten.

64) Purkyně, Untersuchungen über das Gehör. Prager Vierteljahrsschrift. Bd. 67, p. 91. 1860.

schienen auch zwei verschiedene Vokale, wie *e* und *a*, *o* und *a*, *i* und *u* u. s. w., dort in einen Diphthong zusammenzufließen. Leute, die auf einem Ohre taub oder schwerhörig waren, vernahmen bei dem obigen Versuche, den Purkyně wohl überhaupt zur Orientierung über das Verhältnis der Hörfähigkeit beider Ohren zu benutzen pflegte, den Schall entweder nur im anderen Ohre oder zwischen diesem und der Medianebene. Den Grund, weshalb oben der kombinierte Eindruck in den Hinterkopf verlegt wurde, glaubt er (etwas kühn) in der Lagerung sowohl der wichtigsten Membranen (die Vertikalen auf dem Trommelfell und Steigbügel weisen dorthin), als auch der Nervenausbreitung zu finden.

Thompson[12]) (1877) nahm auch bei schwebenden Tönen, welche getrennt je zu einem Ohre gelangten, eine Lokalisation der Stöße in der oberen Region des Kleinhirns wahr; ja selbst die bei Anwendung von e^1 und g^1 von ihm beobachtete rauhe, knarrende Empfindung schien dort ihren Sitz zu haben.

Die folgende Arbeit Thompson's[16]) (1878), aus welcher übrigens hervorzugehen scheint, dass oben unter den Stößen (beats) die im Verlaufe der Schwebungen erfolgenden Abschwächungen der Empfindungsintensität zu verstehen sind, ist vorwiegend der Untersuchung dieser beim diotischen Hören auftretenden Lokalisationserscheinungen gewidmet. Indem er zunächst einen beliebigen Schall mit Hülfe zweier Bell'scher Telephone, bei denen durch Umkehrung der Stromrichtung auch eine solche der Schwingungsrichtung der Platten erzielt werden kann, zu den Ohren einmal in gleichen, das andere Mal in entgegengesetzten Phasen gelangen ließ, bemerkte er, dass nur in letzterem Falle jene Lokalisation des Schalles im Hinterkopfe auftrat, während im ersteren derselbe wie gewöhnlich in beiden Ohren gehört wurde, ein Unterschied, auf den wohl auch Hughes

schon seine Probe auf die richtige Justierung je zweier Empfangstelephone stützte. Die Empfindung beim Klopfen an ein in den Stromkreis geschaltetes Mikrophon vergleicht Thompson ferner mit Stößen gegen die beiden Trommelfelle bezüglich Hammerschlägen gegen die Innenseite des Hinterhauptbeines. Übrigens welche Qualität und Klangfarbe der verwendete Schallreiz auch haben mochte, die Lage seines akustischen Bildes im Hinterkopfe war unveränderlich. Bei anderen Phasendifferenzen beider Reize, welche Thompson unter Anwendung von Stimmgabeltönen durch Einführung verschiedener Längendifferenzen der Zuleitungsschläuche als ständige, durch geringe Verstimmung der einen von zwei gleichen Gabeln als periodisch wechselnde erhielt, bemerkte er gleichzeitig die beiden obigen Lokalisationstypen; doch trat je nach dem Maße der Annäherung der Phasendifferenz an die Werte 0 oder $^1/_2\lambda$ der erste oder zweite mehr hervor. Ebenso durchlief, wenn eine Gabel, zuerst auf die Mitte eines in beide Gehörgänge führenden Kupferdrahtes gesetzt, um $^1/_2\lambda$, — für $c^1 = 256$ Schw. übrigens nur $1^1/_3$ Zoll betragend — seitlich verschoben wurde, die Lokalisation des betreffenden Tones alle jene Phasen von der rein seitlichen bis zur rein mittleren. Bei allmählicher Schwächung des einen von zwei ursprünglich gleichen Tönen, die durch Vermittelung von Gummischläuchen oder Telephonen zu den Ohren gelangten, wurde, je nachdem dies in gleichen oder entgegengesetzten Phasen geschah, der Ton entweder immer mehr und endlich allein in dem stärker erregten Ohre gehört, oder er wanderte, von der Medianebene ausgehend, rund um den Hinterkopf bis in das konstant gereizte Ohr. Endlich fand Thompson, dass auch bei gleichzeitiger Zuleitung mehrerer verschiedener Töne die nach der Phasendifferenz ihrer Zuleitung zu beiden Ohren für jede zu erwartende Lokalisation keinerlei Modifikation erleide. Aus dieser Beobachtung meint Thompson schließen zu

können, dass das diotische Hören die dem monotischen nach Helmholtz nicht zukommende Fähigkeit besitze, uns mittelst der selbständigen Lokalisation der Teiltöne eines Klanges über die Phasendifferenz derselben zu orientieren. Dass auch Differenztöne mit den anderen die Eigentümlichkeiten der diotischen Lokalisation teilen, ergab sich daraus, dass bei Zuleitung der kleinen Terz e^1 g^1 zu beiden Ohren vermittelst der in entgegengesetztem Sinne eingeschalteten Telephone mit den Primärtönen auch ihr Differenzton C im Hinterkopfe lokalisiert erschien. Darüber wie die einheitliche Lokalisation überhaupt zu erklären sei, ob physikalisch, physiologisch oder psychologisch, d. h. rein associativ, konnte Thompson jedoch nicht zu einem Schlusse gelangen.

Zunächst fällt an diesen Mitteilungen Thompson's auf, dass sie mit denen Purkyně's, obwohl, so weit sich erkennen lässt, mit ihnen hinsichtlich der beobachteten Erscheinungen selbst ziemlich in Übereinstimmung, doch, was die Angabe ihrer Bedingungen betrifft, total im Widerspruch stehen. Denn dass, wie letzterer angiebt, ein Schall, welcher (unter Zurücklegung gleicher Wege von der Schallquelle aus) in gleichen Phasen zu beiden Ohren gelangt, in den Hinterkopf verlegt werde, negiert Thompson durchaus. Der Widerspruch ist schwer zu lösen; zu Zweifeln an den Beobachtungen haben wir keine Berechtigung, zu solchen an der Gleichheit ihrer subjektiven Bedingungen keinen Anlass; sonach könnte die Ursache desselben nur in versteckten Unterschieden der Versuchsanordnungen beider Autoren gesucht werden. Bei derjenigen Purkyně's würde nun aber die wohl einzig mögliche Annahme, dass die Röhren, über welche sonst nichts gesagt ist, vielleicht verschiedene Länge oder unregelmäßige Krümmungen hatten, gegenüber der Beobachtung, dass auch durch diese Röhren zugeleitete artikulierte Laute in den Hinterkopf lokalisiert wurden, gar nichts helfen;

denn eine solche Umkehrung der Schwingungen, wie sie stattfinden müsste, wenn die Zuleitung solcher Laute zu den Ohren in entgegengesetzten Phasen erfolgen sollte, ist bei einer derartigen Versuchsanordnung undenkbar. Wie aber nun bei Thompson, wo sich in drei verschiedenen Versuchsanordnungen derselbe Fehler finden müsste? Wenn Zuleitung eines Schalles in gleichen Phasen beabsichtigt war, müsste sie infolge der Konstruktion oder Einschaltung der Telephone, oder infolge von beiderseits verschiedenen Zerrungen und Krümmungen der Gummischläuche, die allerdings wohl in ein anderes Zimmer führten, oder endlich infolge unsymmetrischer Biegung des Kupferdrahtes immer in entgegengesetzten Phasen stattgefunden haben. Aber wie hätte dies dem Physiker entgehen können? Übrigens ist, nach den Thompson'schen Angaben zu schließen, der spezielle Charakter der Lokalisationserscheinungen nur von der Größe der Phasendifferenz d. h. dem kleinsten Abstande gleicher Phasen abhängig, gleichviel welcher von beiden Reizen deren Minuend und welcher deren Subtrahend stellt. Auch mit der Bemerkung Thompson's, dass wir im diotischen Hören ein Mittel zur Erkennung der Wellenform eines Klanges besäßen, kann ich mich durchaus nicht einverstanden erklären. Wir erfahren meines Erachtens vermittelst der selbständigen Lokalisation der Teiltöne eines solchen höchstens, wie verschieden, nicht aber, wie groß beiderseits die Phasendifferenz sei, in welcher jeder der Partialtöne zu den übrigen steht.

Tarchanow[41]) (1878) bemerkte ferner, dass die Medianlokalisation beim diotischen Hören selbst eines ganz schwachen, monotisch kaum oder gar nicht mehr hörbaren Schalles auftrete, jedoch auch schon durch den geringsten Unterschied in der Hörschärfe beider Ohren oder in der Intensität der beiderseitigen Erregungen unmöglich gemacht werde. Brachte er die beiden Telephone in verschiedene Entfernungen von den Ohren,

so schien sich der Ton bei allmählicher Annäherung des entfernteren von den beiden Ohren in den Kopf zurückzuziehen.

Dieser letztere Versuch, in welchem anfänglich nicht nur die Intensitäten sondern auch die Phasen der beiderseitigen Erregungen einen Unterschied aufweisen, der erst durch die Annäherung des einen Telephons ausgeglichen wird, ähnelt hinsichtlich des Resultates einem der Thompson'schen, nur dass sich dort umgekehrt die doppelseitige Lokalisation bei der Phasendifferenz 0 fand und die Medianlokalisation durch Annäherung ihres Wertes an $^1/_2\lambda$ erreicht wurde, — also derselbe Gegensatz, wie er auch zwischen Thompson's und Purkyně's Versuchen besteht.

Preyer[42]) (1879) findet die Angaben Tarchanow's bestätigt und bemerkt dazu, dass ihm selbst der Ort des in der Medianebene lokalisierten Tones dort zu wandern schien.

Leider hat er sich nicht über die mutmaßlichen Ursachen dieser Erscheinung geäußert.

Dass ferner Körting[43]) (1879), der in derselben Weise, wie die vorigen, 273 Personen mit normalem Gehör untersuchte, an 267 derselben diese interaurale Lokalisation konstatieren konnte, lehrt, dass sie eine durchaus reguläre Begleiterscheinung diotischer Wahrnehmungen sei.

In einer weiteren Arbeit weiß Thompson[17]) (1881) von einem Wandern der Lokalisation von Ohr zu Ohr, welches langsame periodische Änderungen der Phasendifferenz d. h. Schwebungen zweier nahezu gleicher Töne begleiten soll, zu berichten. Standen die zu den Ohren geleiteten Töne in Oktavenintervall, wobei nur der tiefere Ton auf der einen Seite merkbar schwebte, so war ein ähnliches Wandern der Lokalisation desselben zu bemerken, doch bewegte sich letztere in etwas engeren Grenzen,

nämlich nur von dem betreffenden Ohre zum Hinterkopf und zurück.

Diese neuen Beobachtungen über diotische Lokalisation stehen nun aber mit den früheren nicht recht im Einklang, nach denen bei Schwebungen zwar auch ein Lokalisationswechsel zu erwarten wäre, aber anstatt in dieser extensiven Beziehung vielmehr in intensiver durch alternierendes Hervortreten einer doppelseitigen und einer mittleren Lokalisation. Auch was oben betreffs der Beziehung zwischen Lokalisation und Phasendifferenz gesagt wurde, stimmt hier nicht mehr; die bei der maximalen Phasendifferenz erfolgende Zeichenänderung oder besser Vertauschung von Minuend und Subtrahend kann nicht ohne Einfluss auf die Lokalisation sein; den seitlichen Lokalisationen müssten denn gerade die minimalen und maximalen Phasendifferenzen entsprechen, die sich dann freilich immer in einer ähnlichen Lage wie Buridan's Esel befänden. Jedenfalls läge es näher, in den Lokalisationsverschiebungen von Ohr zu Ohr den Phasendifferenzen 0 bezüglich $^1/_2\,\lambda$ oder beiden die mittleren, den übrigen aber je nach ihren Vorzeichen die rechts- oder linksseitigen Lokalisationen entsprechen zu lassen.

Zum Schluss berichtet Thompson noch von einer eigentümlichen Beobachtung, dass nämlich ein beiden Ohren in gleicher Stärke zugeleiteter Schall nach Ermüdung eines Ohres für denselben jedesmal mehr von der Seite des anderen zu kommen schien.

Eine Reihe weiterer Beobachtungen von diotischen Lokalisationserscheinungen teilt ferner Urbantschitsch[48]) (1881) mit. Unter gleichzeitiger Zuleitung qualitativ verschiedener Töne je zu einem Ohre fand sich bei keiner einzigen Versuchsperson eine einheitliche Lokalisation, wohl aber meist unter diotischer Zuleitung desselben Tones vermittelst eines verzweigten

Gummischlauches, — dessen Zweige jedenfalls gleich lang waren. Manchmal trat freilich auch hier eine doppelte Lokalisation des Tones auf, die, ursprünglich in den Schläfengegenden, bei Verstärkung desselben sich häufig beiderseits der Mittellinie näherte, ja sogar dort zu einer einheitlichen verschmolz. Seltener und nur mit besonderer Aufmerksamkeit wurde neben den zwei parietalen Hörfeldern noch ein drittes in der Medianebene wahrgenommen. Die reguläre einheitliche Lokalisation aber hatte, wenn die beiderseitigen Reize gleiche Empfindungsstärke besaßen, ihren Platz in der Medianebene; Urbantschitsch freilich will sie dort auch manchmal bei beträchtlichem Hörunterschiede beider natürlich gleich stark gereizter Ohren beobachtet haben. Innerhalb der Medianebene wieder fand er denselben Ton bei derselben Person immer gleich, bei verschiedenen Personen jedoch sehr verschieden lokalisiert (z. B. Hinterkopf, Scheitel, Stirn, Nase, Pharynx etc.). Hatten die beiderseitigen Reize ungleiche Empfindungstärke, so erschien diese einheitliche Lokalisation von der Medianebene nach dem stärker erregten oder besser hörenden Ohre verschoben. Auch nach vorheriger Ermüdung eines der Ohren durch denselben Ton war diese Verschiebung der Lokalisation nach dem anderen Ohre zu bemerken; sie wanderte dann mit Ablauf der Ermüdung wieder in die Medianebene. In der Größe der Verschiebungen aber fand Urbantschitsch wieder, trotz sonst gleicher Verhältnisse, manche individuelle Unterschiede. Die Art der Lokalisation (einfach oder doppelt), sowie ihre interaurale Lage bei diotischer Zuleitung des Prüfungstones wurde ferner bei verschiedenen Qualitäten desselben nicht selten verschieden, der spezielle Ort der Medianlokalisation sogar selten gleich gefunden. Letzterer rückte meist mit der Tonhöhe wagrecht von hinten außen nach vorn in die Stirn, auch senkrecht von oben außen nach unten in die Kopfmitte, aber fast nie umgekehrt. Dabei waren die

Ortsunterschiede von Ton zu Ton manchmal kaum bemerkbar, manchmal beträchtlich, und die einzelnen Hörfelder dementsprechend das eine Mal in einander übergreifend, das andere Mal getrennt.

Trotz dieser Fülle von Beobachtungen dürfte es hier kaum schon gelingen, ein klares Bild von den Verhältnissen zu entwerfen, zumal Urbantschitsch die häufigen individuellen Unterschiede, von denen er berichtet, wie die Arten einer Gattung als einander koordiniert anzusehen scheint, wenigstens nirgends andeutet, in welchem Verhältnis die selteneren Erscheinungsformen zu den häufigeren stehen, geschweige denn dass er sich über die mutmaßlichen Ursachen der Abweichungen ausspricht. Wir werden aber vielleicht nicht fehlgehen, wenn wir dieselben im Hinblick darauf, dass die Versuchspersonen wohl teilweise Patienten waren, als pathologische auffassen. Unter den übrigen sonach als normal anzusehenden Erscheinungen weichen aber wieder verschiedene von den unter ähnlichen Umständen von Thompson beobachteten ab: so vor allem bei diotischer Zuleitung eines Tones in gleichen Phasen — und letztere Bedingung scheint mir bei den obigen Versuchen, wenn auch vielleicht infolge der Anwendung von Gummischläuchen aus schon mehrfach angegebenen Gründen nicht exakt, so doch jedenfalls annähernd erfüllt, — die schon von Purkyně behauptete einheitliche Lokalisation und für den Fall ihres Auftretens ihre Lageverschiedenheit bei verschiedener Qualität des Prüfungstones, eine Angabe, die sich wohl auf ein größeres Beobachtungsmaterial stützt, als die widersprechende Thompson's. Um uns aber diese und andere Erscheinungen sowie deren individuelle Abweichungen nur einigermaßen verständlich zu machen, müssten wir uns weiter, als es erlaubt ist und sich lohnt, auf hypothetisches Gebiet begeben.

Dass zur Entstehung einer interauralen Lokalisation neben der Wahrnehmung eines Schalles einerseits auch schon eine unbewusste akustische Empfindung desselben im anderen Ohre genüge, glaubte Urbantschitsch[45]) (1881) aus seinem schon oben (pag. 225) beschriebenen Versuche schließen zu können. Doch macht wohl die naheliegende Annahme Bloch's, dass jene unbewusste akustische Empfindung unter der Einwirkung der starken Erregung des anderen Ohres über die Schwelle der Wahrnehmung gehoben werde, eine solche Erweiterung des Kreises der Bedingungen für die interaurale Lokalisation unnötig. Interessant ist jedoch die Beobachtung, dass die Lokalisationsverschiebung sowohl beim Beginn als beim Aufhören der Zuleitung des schwächeren Schalles sich nicht plötzlich, sondern innerhalb 1—3 Sekunden vollzog, dass also das An- und Abklingen akustischer Empfindungen für die Lokalisation denselben Erfolg hatte, wie eine Steigerung oder Abnahme der Reizintensität.

Kessel[44]) (1882) fügte zwei gleich weite und gleich lange Zweigrohre eines dreiarmigen Hörrohrs mit ihren beiden Enden luftdicht in die Gehörgänge, so dass ein zugeleiteter Ton beide Ohren in gleicher Stärke und Phase erreichen musste. »Hierbei wird nur eine Wahrnehmung gemacht und dieselbe nach der Medianebene des Kopfes verlegt«. Ein geringes Zusammendrücken des Zuleitungsschlauches einer Seite verhindert diese Medianlokalisation. Beim Aufsetzen von Gabeln auf die Kopfmitte wurde der Ton fast nur von älteren Versuchspersonen und zwar nur, wenn die Ohren unverschlossen waren, an der Ansatzstelle, sonst in den beiden Ohren gehört. Mit seiner Erklärung dieser Erscheinungen dürfte Kessel jedoch allein stehen: der Schall, durch die im Alter schlechter leitende Kopfknochensubstanz in geringem Maße zu den Labyrinthen abgeleitet, »staut sich« an der Ansatzstelle und wird deshalb, wenn

durch den Verschluss der Ohren in diesen nicht noch besonders verstärkt, auch dort gehört. Ebenso wie die einfachen Töne wurden auch die Schwebungen zweier rechts und links oder mitten auf den Kopf gesetzter Gabeln in der Medianebene gehört.

Nach einer weiteren Mitteilung von Urbantschitsch [51]) (1882) haben auch solche subjektive Intensitätsschwankungen von Gehörsempfindungen, die weder mit den Erscheinungen der Ermüdung noch mit denen des An- und Abklingens zu verwechseln sind, Einfluss auf die Lokalisation eines diotisch gehörten Tones. Solche Intensitätsschwankungen, welche den akustischen Sinnesempfindungen wohl selbst eigentümlich sind, erschienen nämlich ganz regellos und zwar auch dann, wenn, um Verwechselungen und Störungen zu vermeiden, die Dauer der Reizeinwirkung nicht zu lang und immer gleich genommen, und nach jedem Versuche eine Pause von mehreren Sekunden eingeschaltet wurde; bei gleich starker Zuleitung eines Tones zu beiden Ohren vermittelst einer T-förmigen Röhre waren sie an dem Springen oder Wandern der Lokalisation desselben von Ohr zu Ohr deutlich zu erkennen.

Endlich hat Urbantschitsch [47]) (1883) auch bei subjektiven Gehörsempfindungen oft eine mittlere Lokalisation gefunden. Dass dieselben hier beiderseits bestanden, unterliegt wohl keinem Zweifel, da die Lokalisation bei akustischer Reizung eines der Ohren, durch welche subjektive Gehörsempfindungen daselbst geschwächt oder verdrängt zu werden pflegen, nach dem anderen Ohre zu wanderte. Auch wenn dieses Wandern bei einseitiger Ohrerkrankung nur unter akustischer Reizung des gesunden Ohres erfolgt, wird die interaurale Lokalisation nicht anders zu erklären sein; nur wird man hier annehmen müssen, dass die subjektive Hörempfindung des gesunden Ohres in ihrer Stärke von der des kranken abhängt.

Stumpf[22] kennt die interaurale Lokalisation fast nur vom Hörensagen (II. 54). Doch hat er auch selbst bei Obertönen von c^3 an aufwärts (II. 236) und bei Schwebungen höherer Töne (II. 468) eine Lokalisation in der Schädeldecke beobachtet. Falls hier nicht blos eine veränderte Deutung vorliege, meint er, müsse diese Erscheinung wohl aus der Aufhebung des Unterschiedes und dem Zusammenfallen der quasi-lokalen Momente der beiderseitigen Tonempfindungen erklärt werden.

Dass Stumpf die Medianlokalisation so selten und nur in gewissen Lagen beobachtet hat, erklärt sich jedenfalls aus individuellen Abweichungen. Ich für meinen Teil möchte vermuten, dass hieran der qualitative Hörunterschied beider Ohren schuld ist, von dem Stumpf (II. 320) berichtet. Nahe bei c^3 bemerkte er auch einen Umkehrpunkt für diese Differenz, in dessen Nähe sich letztere meist verringert. Wie unter dieser Voraussetzung das Eigentümliche in Stumpf's Beobachtungen erklärt werden kann, wird aus den weiteren Erfahrungen verständlich werden.

Schaefer[14]) (1890) beschäftigte sich besonders mit der Lokalisation von Schwebungen und Differenztönen. Er stellte dabei eine Reihe von Versuchen an, in denen er die beiden oft verschieden starken Primärtöne je in irgend einem Intensitätsverhältnis zu beiden Ohren gelangen ließ. Wurden nun z. B. zwei Gabeln (in entsprechenden Qualitätsdistanzen) auf die Mitte eines 1,5 m langen beide Ohren verbindenden Kautschukschlauches gesetzt, und gelangten demnach beide Töne in ungefähr gleicher Intensität (und Phase!) zu beiden Ohren, so wurden Schwebungen wie Differenztöne derselben, die also auch beiderseits in gleicher Intensität entstanden, in die Medianebene lokalisiert und wanderten auch bei Verschiebung der Gabeln nach der infolgedessen stärker erregten Seite hin. Dieselbe

Medianlokalisation fand sich auch oft, wenn die beiden Gabeln vor die Ohren verteilt, und besonders, wenn sie auf korrespondierende Punkte des Schädels gesetzt waren. Wurden ferner die Töne zweier vor die Ohren verteilter und verschieden stark angeschlagener Gabeln durch Resonatoren beträchtlich verstärkt, so erschienen die etwaigen Schwebungen derselben immer auf der Seite der lauteren, die Differenztöne auf derjenigen der leiseren Gabel, und beide wanderten bei allmählicher Schwächung des lauteren Gabeltones in entgegengesetzter Richtung durch den Kopf zum anderen Ohre. Wurde eine Gabel (c^2) mit Resonanzkasten vor die Stirn gehalten, und eine zweite ungefähr gleiche allmählich einem der Ohren angenähert, so schienen die Schwebungen erst von vorn, dann wechselnd aus der Region zwischen beiden Gabeln und schließlich von der zweiten allein zu kommen. Bei Verteilung der Gabeln vor die Ohren wurden die Schwebungen auch öfter zugleich beiderseits in den Ohren oder längs einer die Gehörgänge verbindenden Geraden gehört. Bei Anwendung schwächerer Gabeln in den obigen Versuchen konnte endlich jenes Wandern der Schwebungen, welches übrigens bei einer Stärkeänderung des Schallzuflusses zu einem Ohre relativ deutlicher hervortrat als bei einer solchen der einen Tonquelle, nur mit besonderer Aufmerksamkeit wahrgenommen werden.

Die mit der diotischen Hörbarkeit jedes der beiden Prüfungstöne gegebene Kompliciertheit der Reizbedingungen in den obigen Versuchen erschwert deren Verwertung außerordentlich. Ist doch in den meisten derselben weder zu erkennen, in welcher Phasendifferenz, noch in welchem Intensitätsverhältnis die Primärtöne je beide Ohren erreichen. Trotzdem wird vielleicht mit einiger Sicherheit festgestellt werden können, auf welche Bedingungen ihres Auftretens die gegenwärtigen Lokalisationserscheinungen hinweisen. — Der erste Versuch, in welchem absolute Gleichheit

der beiderseitigen Reizbedingungen besteht, weist zunächst das Auftreten einer einheitlichen Medianlokalisation an Schwebungen und Differenztönen nach, welche hier ebenfalls in beiden Ohren gleiche Stärke und Phase haben müssen. Aber auch eine geringe diotische Phasendifferenz derselben hindert, wie die nächsten Versuche zeigen, wo freilich auch die Verschiedenheit der beiderseitigen Erregungen hinsichtlich der Intensität und Phase ihrer Teiltöne zumal bei Schallzuleitung durch die Kopfknochen keine bedeutende sein kann, ihre Medianlokalisation nicht. Nach den Thompson'schen Versuchen scheint freilich die Phasendifferenz diotischer Erregungen keineswegs bedeutungslos für deren Lokalisation; aber einerseits wird jene Erfahrung, welche sich nur auf einfache objektive Töne bezieht, nicht ohne weiteres auf Differenztöne oder gar Schwebungen, für welche die Phasendifferenz doch eine — hier freilich wohl schon infolge der hohen Schwebungsfrequenz nicht bemerkbare — Abweichung vom Synchronismus der beiderseitigen Maxima und Minima bedeutet, übertragen werden können, andererseits weichen auch die Reizbedingungen jener Versuche von den obigen insofern ab, als die beiden Primärtöne dort getrennt je zu einem Ohre, hier aber zusammen je zu beiden gelangen. Änderte sich nun aber hier, etwa durch Dämpfung einer der beiden Schallquellen, das Verhältnis der beiderseitigen Komponenten dieser Erscheinungen hinsichtlich ihrer Intensitäten, welche sich bei den Schwebungen übrigens nicht nach ihrer Deutlichkeit, sondern nach ihrer mittleren Erregungsstärke und bei den Differenztönen nach derjenigen ihres schwächeren Primärtones bestimmen, so wanderten dieselben, ganz wie in den früheren Versuchen die einfachen Töne, je nach der Seite ihrer stärkeren Komponente. Der nächstfolgende Versuch — eine leicht verständliche Modifikation des vorigen — lehrt uns nichts neues. Wichtiger sind die nächsten Beobachtungen, dass die Schwebungen öfter, wenn

jeder der Primärtöne die beiden Ohren in sehr verschiedener Stärke traf (wie dies bei Verteilung der Gabeln vor dieselben sicher anzunehmen ist), in mehreren Richtungen zugleich lokalisiert erschienen und sich bei Abschwächung eines der Prüfungstöne von da allmählich nach der Seite des anderen zurückzogen. Vorausgesetzt dass bei der interauralen Lokalisation der besondere Ort vom Intensitätsverhältnis der beteiligten diotischen Erregungen abhängt (und dies scheint nach den Beobachtungen bei einseitiger Intensitätsänderung eines diotisch zugeleiteten Tones unzweifelhaft), lässt jene Erscheinung darauf schließen, dass die Gesamterregung jeder Seite solche Faktoren der Lokalisation mehrfach und in verschiedener Stärke in sich schließe, diese darauf, dass die der gedämpften Schallquelle entsprechende Reizqualität auf deren Seite selbst an der Hervorrufung aller jener Faktoren und zwar in verschiedenem Maße beteiligt ist, welches letztere nur angeht, wenn dieselben anatomisch von einander getrennt entstehen. Hiernach scheint eine interaurale Lokalisation, wodurch auch im übrigen die paarweise Beziehung der beiderseitigen Faktoren bedingt sein mag, nur dann entstehen zu können, wenn korrespondierende Bahnen in beiden Ohren gleichzeitig Erregungen leiten. Bei qualitativ gleicher Reizung beider Ohren sind nun wenigstens in normalen Fällen die Intensitätsverhältnisse der korrespondierenden Faktoren in allen Paaren gleich; mit einem Höhenunterschied der Reize treten aber, obwohl er ja an sich eine interaurale Lokalisation nicht verhindert, in diesen Verhältnissen positive und negative Abweichungen von jenem ersten Werte auf, welche je nach der Größe der Distanz Verbreiterung, Spaltung und endlich Lateralisation der Lokalisation bedingen. Diese Abweichungen dürften nur daraus zu erklären sein, dass qualitativ verschiedene Erregungen Gruppen von Bahnen überziehen, die sich nicht völlig, nur teilweise oder gar nicht decken. Das Fehlen einer

einheitlichen interauralen Lokalisation bei Stumpf und wohl auch in den 2,2% der Körting'schen Fälle erklärt sich bei dieser Auffassung leicht aus dem Bestehen einer Diplakusis, welche für das Intensitätsverhältnis jener Faktoren der Lokalisation wohl dasselbe bedeutet, wie in normalen Fällen eine qualitativ verschiedene Reizung beider Ohren*).

In einer weiteren Arbeit bestätigt Schaefer[24]) (1890) zunächst die besonders von Urbantschitsch beobachteten individuellen Eigentümlichkeiten der diotischen Lokalisation bei qualitativ und intensiv gleicher Erregung beider Gehörorgane. Ferner hat Schaefer die Abhängigkeit der interauralen Lokalisation vom Intensitätsverhältnis der beiderseitigen Erregungen untersucht und gefunden, dass sich auch bei sehr beträchtlichem Intensitätsunterschiede der letzteren eine solche Lokalisation namentlich durch unmittelbare Vergleichung mit der rein lateralen leicht nachweisen lasse, wenn auch im übrigen die Wahrnehmung einer Ortsveränderung weniger präcis sei, als diejenige der sie bedingenden Intensitätsänderung des einen Reizes. Bewegte er zwei gleichgestimmte vor die Ohren verteilte Gabeln a tempo nach rechts und links, so wurde bei schneller Bewegung, wo man dem Alternieren nicht folgen konnte, ein Schweben der Tonempfindung in beiden Ohren, bei langsamer jedoch ein

---

*) Vielleicht hat auch die im zweiten Teile des ersten Abschnitts behandelte Verstärkung von Ohr zu Ohr die Erregung korrespondierender Nervenendigungen zur Voraussetzung; wenigstens hat Stumpf auch von dieser Erscheinung, welche normaler Weise mit jener die qualitativ gleiche Reizung beider Ohren als ihre günstigste Bedingung gemein hat, nichts beobachten können. Darüber, wo diese Nervenendigungen liegen, (Endigungen, weil hier doch eine neue Verteilung der Erregungen auf die verschiedenen Bahnen erfolgt), lassen sich nur Vermutungen aussprechen. Eine eventuelle Diplakusis muss aber auf die Verteilung von Einfluss sein; auf die Interferenzvorgänge hat sie keinen, weshalb letztere vor diesem Orte statthaben müssen.

Wandern derselben von Ohr zu Ohr wahrgenommen. Die letztere Erscheinung trat auch, wie schon Thompson bemerkte, bei sehr geringer Verstimmung der Gabeln spontan ein. Bei geringer Vermehrung der Frequenz wurden die Schwebungen (ca. 4. p. S.) meist in der Medianebene, bei größerer jedoch wohl immer auf beiden Seiten gehört. Endlich bemerkte Schaefer bei allmählicher Verstärkung der Schwingungen eines Bell'schen Telephons, das vor einen Trichter gebracht seinen Schall vermittelst eines gegabelten Schlauches zu beiden Ohren (jedenfalls auf gleich langen Wegen, also in gleichen Phasen) sandte, ein Wandern des Tonortes von außen bis in die Kopfmitte, und bei Schwächung derselben sowie bei Ermüdung beider Gehörorgane durch anhaltende Reizung ein solches in umgekehrter Richtung. Da jedoch genau dieselbe Erscheinung bei Annäherung bezüglich Entfernung einer etwa in der Medianebene befindlichen Schallquelle vom Beobachter eintrete, und ja auch öfter ein schwacher Schall intrakraniell, ein starker dagegen extrakraniell lokalisiert werde, so glaubt er, dass es doch weniger die Intensität der Schallempfindung als ihre besondere Nuance sei, welche den Tonort bestimme.

Aber durch ersteres Experiment ist diese Bedeutung der Intensitätsänderung, welche letztere ja dort nicht ausgeschlossen ist, keineswegs widerlegt, und bei Ausnahmefällen, wie den letztgenannten, wäre die Annahme, dass das Urteil durch Nebenumstände modifiziert sei, auch kaum zu gewagt. Die Angaben Schaefer's über die Merklichkeit der Lokalisationsänderungen sind leider, da in den Versuchen (es wurden vor die Ohren zwei gleichtönende Telephone verteilt, deren eines in verschiedene Entfernungen vom Beobachter gebracht wurde) die beiden Töne weder sicher getrennt noch auch immer in gleichen Phasen zu den Ohren gelangten, nicht ganz einwandfrei. Sind aber, wie wir schon oben gesehen haben, für die Lokalisation die Inten-

sitätsverhältnisse ihrer beiderseitigen Faktoren bestimmend, so muss natürlich auch ein Wechsel dieser eine Veränderung jener bedingen. Der nächste Versuch, der jene Bedingung durch die alternierende Intensitätsschwankung beider Erregungen erfüllt, bestätigt ja auch diese Folgerung. Dass dieselbe Erscheinung des Wanderns auch bei ganz langsamen Schwebungen auftritt, kann uns, wenn wir bedenken, dass jeder der beiden Töne auf verschieden langen Wegen beide Ohren erreicht, wo er mit dem anderen interferiert, ebenfalls nicht wunder nehmen; denn dadurch, dass hier auf der einen Seite der höhere Ton dem tieferen, auf der anderen der tiefere dem höheren in der Phase voraus ist, müssen die auf beiden Seiten entstehenden Schwebungen, wie eine leichte Überlegung zeigt, eine Abweichung vom Synchronismus aufweisen. Die geringe Qualitätsverschiedenheit beider Reize hat hier nicht viel zu sagen, sie könnte wohl nur eine geringe Verbreiterung der Lokalisation hervorrufen. Denn erst bei viel höheren Schwebungsfrequenzen sind, wie wir oben gesehen haben, die einzelnen Verhältniswerte der Erregungsintensitäten korrespondierender Nervenelemente so verschieden, dass die Lokalisation eine merkliche Spaltung zeigt. Jede der beiden Lokalisationen müsste hiernach natürlich immer noch ein obschon vielleicht weniger ausgedehntes Wandern erkennen lassen, wenn dasselbe sich hier nicht schon bei weitem zu schnell vollzöge, um noch in seinen einzelnen Stadien verfolgt werden zu können. Anstatt der wandernden stellen sich hier eben wohl etwas unruhige oder unbestimmte Durchschnitts-Lokalisationen ein. Dass die doppelseitige Lokalisation der Intensitätsschwankungen, wie sie Schaefer bei gleichen Tönen durch schnelle alternierende Stärkeänderungen erzielte, und die wohl eine Folge davon ist, dass während des Wechsels die seitlich lokalisierten Tonempfindungen die übrigen sowohl an Dauer wie an Stärke übertrafen, durchaus kein Analogon zu der

doppelseitigen Lokalisation der Schwebungen bildet, bedarf wohl nicht erst der Erwähnung. Die Erscheinung des Wanderns bei Schwebungen ist nun aber von Thompson auch dann beobachtet worden, wenn sicher nur eine direkte Leitung jedes Tones zu einem Ohre stattfand, weshalb die obige Erklärung derselben aus einer doppelten Interferenz auch für diesen Fall wohl zutreffen könnte, zumal sie ja in derselben Form schon aus der Modifikation der Klangfarbe eines Einzelklanges und auch aus der Schwäche der Schwebungen beim diotischen Hören gegenüber dem monotischen postuliert werden musste. Die geringere Ausdehnung des bei verstimmten Oktaven an dem tieferen Tone bemerkbaren Wanderns, welches jedenfalls dieselbe Ursache hat wie dasjenige bei verstimmten Primen, wird wohl auf Rechnung einer geringeren Stärke der Schwebungen auf der Seite des höheren Tones zu setzen sein.

Bezold[65]) (1890) berichtet, dass bei einer Hyperakusie des einen Ohres, die sich nach Beseitigung eines verhärteten Baumwollpfropfens aus dessen Gehörgang einstellte, jedweder Schall von der Seite dieses Ohres zu kommen schien.

Von einer Urteilstäuschung kann aber bei dieser Erscheinung wohl ebensowenig die Rede sein wie z. B. beim Kontrast.

Bloch[32]) (1893) endlich fand die Angabe Thompson's bezüglich des Lokalisationswechsels bei Änderung des Intensitätsverhältnisses der beiderseitigen Erregungen, nicht aber diejenige betreffs der Lokalisation bei Zuleitung der Reize in gleichen oder entgegengesetzten Phasen ganz bestätigt, sondern beobachtete unter beiden Bedingungen eine Medianlokalisation des Tones, die im ersten Falle in der Stirn, im zweiten aber

65) Bezold, Urteilstäuschungen nach Beseitigung einseitiger Harthörigkeit. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. Bd. 1, p. 486. 1890.

in oder hinter der Mitte des Kopfes ihren Platz hatte. An diesem Unterschiede, der durchaus nicht sehr erheblich ist, wurde doch die Phasendifferenz der beiderseits zugeleiteten Erregungen bei allen untersuchten Tönen (bis gegen 2000 Schw. p. S.) in 75—92 % der Fälle richtig erkannt. Bei dem schon früher (pag. 225) in anderem Zusammenhange angeführten Versuche beobachtete Bloch während der Annäherung der einen Gabel nicht, wie man nach obigem infolge der hierbei stattfindenden Veränderung des Intensitätsverhältnisses erwarten sollte, ein Wandern der Lokalisation nach der Medianebene zu, sondern eine doppelte Lokalisation in beiden Ohren, welche erst einer Medianlokalisation Platz machte, sobald die beiden Gabeln gleich stark gehört wurden.

Wenn wir auch hier auf eine Erklärung dieses letzten Versuchsresultates verzichten müssen, so kann uns seine Abweichung von dem obigen doch vielleicht aus der Verschiedenheit der Bedingungen verständlich werden. Denn während in diesem eine reine Änderung des Intensitätsverhältnisses der zugeleiteten Töne statt hat, liegt in jenem daneben noch eine Änderung der Phasendifferenz vor. Die Verschiedenheit der Medianlokalisation bei diotischer Tonzuleitung in gleichen und entgegengesetzten Phasen kann nur in dem diesen Wechsel begleitenden Unterschiede der Klangfarbe oder der Stärke der Tonempfindung ihren Grund haben. Für die Ursächlichkeit des ersteren spricht wohl die Angabe von Urbantschitsch, dass er den Ort eines median lokalisierten Tones mit der Höhe von hinten nach vorn in die Stirn rückend gefunden habe (hier würde freilich die umgekehrte Richtung verlangt), für die des letzteren die Beobachtung von Schaefer, dass bei Verstärkung eines diotisch zugeleiteten Telephontones dessen Ort in der Medianebene sich demgemäß von außen dem Kopfe näherte, dann in denselben förmlich hineinkroch und endlich

zwischen den Ohren Halt machte. Es wäre vielleicht nicht unpassend, die Beobachtung von Urbantschitsch — Änderungen der Reizstärken hat er nicht vorgenommen — damit zu erklären, dass höhere Töne größere Empfindungsstärke als tiefere zu besitzen pflegen.

Von den Ergebnissen der obigen Erörterungen dürften besonders die folgenden für die Erkenntnis der diotischen Schalllokalisation wichtig sein. Was zunächst die interaurale Lokalisation im allgemeinen betrifft, so fand sich als ihre Grundbedingung die Erregung korrespondierender Nervenendigungen in beiden Gehörorganen, eine Bedingung, welche normaler Weise nur bei Gleichheit der Qualität diotischer Tonwahrnehmungen (als einfache Schallempfindungen, Schwebungen, Differenztöne oder subjektive Hörempfindungen) von beliebiger Intensität, Qualität oder Klangfarbe vorliegt, dagegen bei Verschiedenheit ihrer Qualität, sie mag, wie es scheint, auch nur von einer Diplakusis herrühren, immer fehlt. Gleichzeitige interaurale Lokalisationen, welche qualitativ verschiedenen Reizpaaren entsprechen, scheinen von einander durchaus unabhängig. Von der besonderen Richtung der Lokalisation zwischen dem reinen Rechts und Links wird ferner anzunehmen sein, dass sie von der Intensität der bezüglichen beiderseitigen Wahrnehmungen abhänge — alles, was jene betrifft, als Änderung der Reizstärke, der Hörschärfe, An- und Abklingen, Ermüdung, Hyperakusie, subjektive Intensitätsschwankung, ist ja von Einfluss auf die Lokalisation — und zwar immer einem besonderen Intensitätsverhältnis derselben (die Medianlokalisation dem Werte 1) entspreche. Die hier von Urbantschitsch bei verschiedenen Personen bemerkten Abweichungen, sie mögen den Ort oder den Ortsunterschied betreffen, welcher einem bestimmten Verhältniswerte oder Wertunterschiede entspricht, werden sicher aus Funktionsanomalien der Schallleitungsapparate zu erklären sein.

Die mehrfache Lokalisation diotischer Wahrnehmungen ferner kann vielleicht auf Diplakusis zurückgeführt und so als mitteninne stehend zwischen mittlerer und doppelseitiger Lokalisation aufgefasst werden. Wie freilich ein Übergang derselben in eine Medianlokalisation bei bloßer Reizverstärkung möglich sei, bleibt noch zu erklären. Die Bemerkung Schaefer's, dass es einer ziemlich beträchtlichen Intensitätsänderung eines der Faktoren der Lokalisation bedürfe, um eine eben merkliche Ortsverschiebung derselben zu erzielen, kann wohl nur für seitliche Lokalisationen gelten; denn für die Medianebene giebt Lord Rayleigh schon eine Abweichung, bei welcher der Unterschied der beiderseitigen Reizstärken nur 1 % beträgt, als bemerkbar an. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Reihe gleichmerklicher Ortsunterschiede einer arithmetischen Reihe von Intensitätswerten des dabei veränderlich gehaltenen Reizes parallel gehe. Jedenfalls aber kann die Lokalisation nicht auf einer Intensitätsvergleichung der beiderseitigen Reize beruhen, es müsste denn in obigem Falle statt des 1 % nach Rayleigh's Messung richtiger 20 % zu setzen sein. Betreffs der Entfernungen der Lokalisation vom Kopfmittelpunkte legen die bisherigen Beobachtungen die schon oben erörterte Annahme nahe, dass sie sich umgekehrt wie die Reizintensitäten verhalten. Auch in der Richtung der Lokalisation zwischen dem reinen Vorn und Hinten sind deutliche, freilich bisher nicht erklärbare Unterschiede zumal zwischen verschiedenen Personen gefunden worden. — Die Thatsache, dass die Lokalisationserscheinungen sich nicht nur bei objektiv, sondern auch bei subjektiv bedingten Hörempfindungen oder Stärkeschwankungen irgend welcher akustischer Wahrnehmungen einstellen beziehungsweise ändern, dürfte auf einen mehr centralen Ort der ihnen entsprechenden Beziehungsvorgänge hinweisen.

D. Die Modifikationen der Zusammensetzung.

Unter diesem Titel wollen wir Erscheinungen behandeln, welche in einer unter bestimmten Verhältnissen auftretenden Bereicherung derjenigen Empfindungssumme bestehen, welche sich aus den beiden, den primären Erregungen entsprechenden Empfindungsqualitäten zusammensetzt. Zu diesen Erscheinungen ist natürlich kein negatives Analogon denkbar; überhaupt sind Fälle, in denen die Bereicherung auf Verstärkung, der Verlust auf Schwächung gewisser Teilerregungen zurückzuführen ist, nicht hierher zu beziehen. Als Bereicherungen der Zusammensetzung sind nun beim monotischen Hören vor allem die Kombinationstöne bekannt. Beim diotischen Hören hat man solche zunächst nicht wahrnehmen können, obgleich man schon frühzeitig die Aufmerksamkeit auf diesen Punkt richtete, weil man ihn für entscheidend in der Frage der Kopfknochenleitung hielt.

In der von Dove[6]) (1859), Terquem und Boussinesq[11]) (1875), Thompson[12]) (1877) und auch noch von Cross und Goodwin[26]) (1891) auf die Nichtwahrnehmung von Differenztönen gestützten diesbezüglichen Entscheidung versteckt sich die Annahme, dass Differenztöne nie subliminale Stärke haben können.

Wie ungerechtfertigt diese Annahme ist, erhellt schon aus folgenden von Thompson[17]) (1881) angestellten Versuchen. Bei verstimmten Intervallen (Oktaven, Duodecimen) von der Form $n : 1$ fanden sich immer nur Schwebungen des tieferen Tones, mochten die Töne von gedackten Orgelpfeifen oder von Stimmgabeln getrennt zu den beiden Ohren geleitet werden. Dieses Schweben war von einer Lokalisationsänderung desselben Tones begleitet, woraus wir schon im vorigen Abschnitte auf die Existenz einer dem tieferen Tone entsprechenden Erregung auf der

Seite des höheren geschlossen haben. Waren ferner beide Schallquellen in demselben Zimmer aufgestellt, und konnte sonach eine teilweise Vermischung der beiden Oktaventöne eintreten, ehe sie die Ohren erreichten, so wurden ebenfalls nur Schwebungen des tieferen Tones wahrgenommen und zwar beiderseits. War hierbei der tiefere Ton besonders laut, so waren die Schwebungen für dasjenige Ohr, welches vornehmlich den höheren Ton empfing, war letzterer der stärkere, dann schienen sie für das andere Ohr am deutlichsten.

Diese Schwebungen des tieferen Tones bei Intervallen von der Form $n : 1$ deuten wohl mit Sicherheit auf die Anwesenheit von Differenztönen sogar verschiedener Ordnung. Dass dieselben für sich allein neben den Primärtönen nicht wahrgenommen wurden, bildet natürlich kein Hindernis für die Annahme ihrer Existenz; denn derselbe Ton, welcher mit einem anderen deutliche Schwebungen giebt, braucht, wie wir wissen, für sich allein durchaus nicht hörbar zu sein. Das zuletzt angeführte Experiment Thompson's lehrt von neuem, dass der Kombinationston um so stärker ausfällt, je geringer die Intensitätsdifferenz der Primärtöne ist. Derselbe entsteht hier natürlich in beiden Ohren, wo er dann mit dem tieferen Tone schwebt. Übrigens ist nur im zweiten Falle der tiefere Ton in demjenigen Ohre, welches er stärker erregt, zugleich Träger der deutlicheren Schwebungen, welche deshalb leicht zu beobachten sind. Im ersten Falle dagegen dürfte die starke Erregung des einen Ohres die Beobachtung der Schwebungen im anderen doch etwas stören.

Dieselben Schwebungen bei verstimmten Oktaven konnte Stumpf[22]) (II. 496 f.) besonders deutlich nur bemerken, wenn er den Kopf zwischen die mit ihren Resonanzkästen verbundenen Gabeln brachte; doch vernahm er sie auch, wenngleich bedeutend schwächer, bei frei vor den Ohren tönenden Gabeln. »Hier

wird«, meint er, »die Bildung des Kombinationstones eben nicht durch die Luftleitung unterstützt.«

Letzteres dürfte freilich nicht ganz stimmen, zumal feststeht, dass ein mittellauter Schall, z. B. der einer Uhr oder Stimmgabel, die sich dem einen Ohre gegenüber befindet, bei Verschluss des letzteren im anderen sogar oft gehört wird (conf. Dennert[66]) und Lucae[67]) [1875], sowie Guye[68]) [1888]). Genau genommen ist jene Annahme — dazu mit der Modifikation, dass die Luftleitung samt der freilich wohl weniger wichtigen Luft-Knochenleitung nicht allein zur Bildung des Kombinationstones genüge — erst dann gerechtfertigt, wenn bei Verschluss des der höheren Gabel zugewendeten Ohres keine Schwebungen des tieferen Tones hörbar sind.

Schaefer[21]) (1890) bemerkt endlich, dass das Intervall der Primärtöne in den Thompson'schen Versuchen nur sehr wenig von dem rein gestimmten abweichen dürfe, wenn jene Schwebungen deutlich hörbar sein sollen. Doch auch einen deutlich wahrnehmbaren Differenzton erzielte er bei verteilten Gabeln, nämlich wenn ihre Intensität nicht die gleiche war. Derselbe erschien dann auf der Seite der leiseren Gabel, d. h. dort, wo die den beiden Tönen entsprechenden Erregungsstärken die geringere Differenz aufwiesen. Bei sehr starken Primärtönen konnte deren Stärkeunterschied auch = 0 sein; der Differenzton, welcher hier offenbar beiderseits in gleicher Stärke entstand, wurde dann in der Medianebene gehört.

---

66) Dennert, Zur Gehörsprüfung auf Grund einer Beobachtung von Nekrose der Schnecke. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 10, p. 231. 1875.

67) Lucae, Über Ausstoßung der nekrotischen Schnecke mit Bemerkungen über den relativen Wert der üblichen Methode der Hörprüfung. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 10, p. 236. 1875.

68) Guye, De l'ombre sonore, comme cause d'erreur dans la mesure de l'acuité auditive. Revue mens. de Laryng. 1888, No. 11. (n. R.)

Hiernach scheint lediglich die Differenz, nicht die Verteilung der Intensitäten auf die interferierenden Erregungen für die Stärke des Differenztones maßgebend zu sein. Bei den verstimmten Intervallen müssen dann auch die Schwebungen als beiderseits bestehend gelten. Leider ist in allen diesen Versuchen die Luftüberleitung nicht ausgeschlossen.

Die Thompson'schen Versuche sind sonach wohl die einzigen, die in einwurfsfreier Weise die Existenz wirklich diotischer Differenztöne darthun. Andere Bereicherungen der Zusammensetzung sind dagegen überhaupt noch nicht beobachtet worden. Entstehen können nun die Differenztöne wohl nur aus einer Mischung der beiderseitigen Erregungen, einer Art der Beziehung, die, wie ich schon im ersten Abschnitt zu zeigen versuchte, kaum den ständigen, wohl aber den periodischen Intensitätsmodifikationen zu Grunde liegen wird. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, dass Differenztöne und Schwebungen als zwei, sei es dem Wesen oder nur dem Grade nach verschiedene Folgeerscheinungen desselben Beziehungsvorganges, der Interferenz, anzusehen sind. Diese neue Anforderung an die Interferenzvorgänge charakterisiert zwar ihren Ort noch nicht eindeutig, doch hilft sie mit, die zu fordernden lokalen Verhältnisse mit den objektiv vorliegenden zur Deckung zu bringen.

Schluss.

Um uns hier noch einmal das auf Grund der vorliegenden Erfahrungen entworfene Bild deutlich vor Augen zu führen, wollen wir versuchen, zwei gleichzeitige Erregungen beider Gehörorgane auf ihrem Wege zu verfolgen.

Von einander getrennt je nur eines der Ohren treffend, versetzen sie darin alles leicht Bewegliche in Schwingungen, dann immer in oscillatorischer Form sich verbreitend und

weiterschreitend, begegnen sie einander. Was aus dieser Interferenz centripetal weiterfließt, sind zwei neue oscillatorische Erregungen, welche einfache Sinuswellen oder Schwebungen darstellen, je nachdem die zugeleiteten Erregungen (nur auf diese kommt es an) gleiche oder verschiedene Wellenlänge hatten. Zwei verschieden gut leitende und ungleich lange Wege führen die letzteren je zu den beiden Ausgangspunkten der kombinierten Erregungen; als deren Komponenten zeigen sie deshalb gegenüber der anfänglichen Differenz ihrer Intensitäten sowohl wie ihrer Phasen eine gewisse und zwar in beiden Resultanten entgegengesetzte Abweichung; erstere bewirkt, dass deren Intensitätsschwankungen bei (künstlicher oder spontaner) Änderung der Phasendifferenz der zugeleiteten Erregungen nicht bedeutend, letztere, dass sie nicht synchron sind, dadurch bei Schwebungen die Undeutlichkeit und niedrige Grenze für ihre Frequenz und Tonhöhe, bezw. die wandernde Lokalisation bedingend, welche letztere freilich bei größerer Frequenz nicht mehr verfolgbar, einer Durchschnitts-Lokalisation Platz macht. Die oben besprochene Verschiedenheit zwischen der Intensitäts- und Phasendifferenz der Erregungen bei ihrer Zuleitung und bei ihrer Interferenz ist ferner eine ihrer Amplitude bezüglich ihrer Schwingungsfrequenz proportionale, weshalb einerseits die Deutlichkeit der Schwebungen bei konstantem Intensitätsverhältnis jener beiden Erregungen immer dieselbe ist, andererseits in einem obertonreichen Klange beim diotischen Hören die tieferen Töne gegen die höheren hervortreten, wenn seine Schwingungen in beiden Ohren immer gleich, und umgekehrt, wenn sie immer entgegengesetzt gerichtet sind. Bei entsprechenden Qualitätsdistanzen der beiden Komponenten werden aus der Interferenz auch Differenztöne hervorgehen können; wenigstens scheint die Bedingung ihrer Entstehung durch die Mischung der beiderseitigen Erregungen gewissermaßen gegeben.

Die beiden aus der Interferenz resultierenden Erregungen gehen alsbald eine neue Beziehung ein. Wahrscheinlich aber schon vorher erreichen sie einen Ort, an welchem zahlreiche Bahnen entspringen, die alle von einander getrennt weiterführen. Jene beiden Erregungen breiten sich nun über gewisse mit ihrer Qualität wechselnde Gruppen solcher Bahnen aus, die einzelnen in verschiedener Intensität durchlaufend. Eine eventuelle Diplakusis hat, einen ebensolchen Wechsel bedingend, hier ihren Sitz. Aus der neuen Beziehung resultieren nun wieder zwei Erregungen, welche aber, da ihre Intensitäten, obzwar von einer etwaigen Phasenverschiebung der Komponenten durchaus unabhängig, doch ebensowohl positiv wie negativ von deren Intensität abweichen können, kaum aus einer Mischung jener Komponenten entstanden sein dürften. Das Resultat des Beziehungsvorganges ist also wohl nur eine Intensitätsmodifikation seiner Faktoren. Bei gleicher Qualität der Erregungen von positivem Werte, wird sie mit der Distanz abnehmend bald negativ, um sich dann wieder bei weiterer Vergrößerung des Qualitätsunterschiedes allmählich dem Werte 0 zu nähern. Außerdem wird das Maß der Modifikation für jeden der Faktoren noch von ihrem Intensitätsverhältnis abhängen. Den Vorgang selbst haben wir uns wohl so zu denken, dass jede der Erregungen eine synergische Steigerung der Leitfähigkeit des anderen Organs für qualitativ ähnliche und zugleich eine kompensatorische Herabsetzung derselben für qualitativ ferner stehende Erregungen hervorruft. Bestimmt unter den auf die verschiedenen Bahnen verteilten, aber demselben Reize entsprechenden Erregungen die stärkste zugleich die Höhe der Tonempfindung, so muss eine solche, durch einen qualitativ verschiedenen Reiz gewirkte Intensitätsmodifikation, welche die einzelnen Erregungen doch in verschiedenem Maße betrifft, im allgemeinen von einer Tonhöhenänderung begleitet sein. Eine paarweise Verbindung korrespon-

dierender Bahnen beider Seiten mag dieser ganzen Wechselwirkung als lokale Grundlage dienen.

Eine solche wird auch gefordert durch die binauralen Lokalisationserscheinungen, welche eine Beziehung diotischer Erregungen begleiten, die (wohl die einzige Bedingung) in solchen korrespondierenden Bahnen verlaufen. Bei diotischen Reizungen giebt es immer gleichzeitig so viele von einander unabhängige interaurale Lokalisationen, als es solche Paare Erregungen leitender Bahnen giebt. Der spezielle Ort der Lokalisation zwischen dem reinen Rechts und Links hängt vom Intensitätsverhältnis dieser Erregungen ab. Eine qualitative Verschiedenheit der beiderseitigen Reize oder eine Diplakusis ist (wenn bedeutender) nur deshalb ein Hindernis für die einheitliche interaurale Lokalisation, weil sie zugleich einen Intensitätsunterschied jener Erregungen setzt.

Die drei hier unterschiedenen funktionellen Beziehungen beider Gehörorgane können wir wohl, ohne sie damit endgültig zu charakterisieren, kurz als unmittelbare, mittelbare und heterogene bezeichnen.

WILHELM WUNDT

zum

16. August 1902

gewidmet.

8.

Über die Dauer der Lichtempfindungen

von

Götz Martius.

1. Einleitung.

Der Zweck der folgenden Untersuchungen ist, die Dauer der Lichtempfindung exakt zu bestimmen.

Von vornherein ging ich dabei von der Überlegung aus, dass die bisherigen Versuche, eine solche Bestimmung vorzunehmen, nicht ganz einwandfrei seien. Als bekanntes Beispiel des Mangels der notwendigen Berücksichtigung der verschiedenen die Frage beeinflussenden Umstände und Gesichtspunkte kann der noch heute in physikalischen Vorlesungen ausgeführte Demonstrationsversuch angesehen werden, welcher die Worte »Dauer der Lichtempfindung« auf eine weiße Scheibe aufgedruckt zeigt, vor der sich eine schwarze Scheibe mit einem Ausschnitt sehr schnell dreht. Wird die letztere Scheibe angehalten, so scheint klar und deutlich bewiesen, dass die Lichtempfindung jedenfalls solange andauert, als der schwarze Teil der sich schnell bewegenden vorderen Scheibe mit Ausschnitt bei jeder Umdrehung die einzelnen Buchstaben bedeckt. Es wäre dies auch richtig, wenn wirklich die schnelle Scheibe bei diesem Versuche nur als zeitweilige Bedeckung der gedruckten Worte zur Wirkung käme. Das ist jedoch nicht der Fall. Das Schwarz der Scheibe verschmilzt mit dem festen weißen Grunde

zu einem einheitlichen Grau. Es handelt sich um eine Gesamtwirkung, nicht um eine Succession zweier Reize. Infolgedessen wird der Zweck des Versuches, die Dauer der Buchstaben in der Empfindung zu bestimmen, nicht erreicht.

Doch versuchen wir, den Vorgang der Lichtempfindung von vornherein in seinen einzelnen Stadien festzuhalten. Einer Lichtempfindung, die für uns einen rein subjektiven Vorgang, das bestimmte Erlebnis, das wir haben bei Öffnung der Augen im Hellen, bedeutet, geht voran die Fortpflanzung des von irgend einer Lichtquelle ausgehenden Lichtes durch den Raum, die Vereinigung der Strahlen der Lichtquelle auf der Netzhaut, der photochemische Zersetzungsprozess auf der Retina, der Erregungsvorgang im Sehnerven und die zentrale Erregung einer Anzahl subcorticaler und corticaler Ganglienzellen, von denen die letzteren, wenigstens zum Teil, im Hinterhauptslappen liegen. Wenn wir sagen, alle diese Vorgänge gingen der Lichtempfindung voraus, so ist dies zunächst nicht rein zeitlich aufzufassen, wenigstens nicht für einen äußeren Reiz von längerer Dauer. Wir behaupten nicht etwa, dass die Lichtempfindung sich zeitlich an alle diese Prozesse erst anschlösse. Wir lassen zunächst dahingestellt, wann die Lichtempfindung als subjektives Erlebnis innerhalb der geschilderten objektiven Prozesse beginnt, wann sie im Verhältnis zu diesen endigt. Wir betonen nur, dass die Dauer der Lichtempfindung als solche weder mit der Dauer der physikalischen noch der physiologischen Reizvorgänge etwas gemein hat. Wenn wir die Dauer der wirklichen Lichtempfindung bestimmen wollen, dürfen wir diese Bestimmung nicht verwechseln mit der Dauer irgendeines ihr vorhergehenden oder parallel gehenden physikalischen oder physiologischen Reizvorganges. Andererseits, wenn wir die Dauer der Lichtempfindung wirklich gefunden haben, werden wir anzunehmen haben, dass während der Zeit der Dauer der Empfin-

dung auch ein, wahrscheinlich zentraler, Erregungsvorgang vorhanden ist, welcher einen Teil jenes zuerst geschilderten Gesamtprozesses ausmacht. Vermutlich ist der in Frage kommende Teil der Schlussteil. Es müsste denn der subjektive Empfindungsvorgang schon mit dem Augenblick der chemischen Lichtwirkung im Auge oder mit dem Moment der Übertragung auf den Nerv beginnen. Wir lassen das ebenfalls zunächst dahingestellt. Wann auch die Lichtempfindung als Empfindung beginnen und enden möge, ihre Dauer hat mit der Dauer der verschiedenen für sie in Frage kommenden objektiven Prozesse zunächst nichts zu thun.

Es ist ferner ohne weiteres klar, dass dieser subjektive Vorgang als solcher direkt überhaupt nicht messbar ist. Psychologische Prozesse lassen eine äußere Begrenzung nicht zu. Sie spielen sich innerhalb des individuellen Bewusstseins ab und entziehen sich damit jeder unmittelbaren räumlich-zeitlichen Begrenzung. Wenn man also trotzdem die Messung der Zeit des subjektiven Empfindungsvorgangs unternimmt, kann von vornherein die Absicht nur darauf gerichtet sein, diese Zeit durch Rückschlüsse aus Beobachtungen zu ermitteln, welche in Wirklichkeit nicht den subjektiven Vorgang der Empfindung, sondern einen der mit diesem zusammenhängenden Reizprozesse messen. Und auch unter diesen sind nur die äußeren physikalischen Reizvorgänge einer direkten, exakten zeitlichen Messung fähig, also die Dauer der Lichtwirkung, nicht die physiologischen Prozesse, die retinale oder zentrale Erregung. Es ist also in der Natur der Umstände und in ihrer Eigenart begründet, wenn alle Arbeiten, welche sich mit unserem Problem bisher beschäftigt haben, die Dauer der Lichtreizung und nicht die Dauer der Lichtempfindung bestimmt haben. Daran wird auch in Zukunft nichts zu ändern sein. Nur darum kann es sich handeln, die Dauer des Lichtreizungsvorganges auf solche Weise zu unter-

suchen, dass die dabei gemachten Beobachtungen auf die Dauer der Lichtempfindung richtige Rückschlüsse gestatten.

Solche Rückschlüsse scheinen mir nicht berechtigt aus den zahlreichen auf die Verschmelzung successiver Lichtreize bezüglichen Untersuchungen oder den Untersuchungen der Erscheinungen des Talbotschen Gesetzes. Wenn zwei successive Lichtreize in schneller Folge die gleichen Netzhautteile treffen, so entsteht eine einheitliche Lichtempfindung, deren Intensität der mittleren Reizstärke des wirkenden Lichtes entspricht. Bedingung für die Verschmelzung ist, dass die Reizperiode eine gewisse durch jene Arbeiten bestimmte und von mehrfachen Bedingungen abhängige Zeit nicht überschreitet. Aus dieser Zeit, auch wenn ihr minimaler Wert bekannt ist, lassen sich aus dem Grunde für die Dauer der Lichtempfindung keine Rückschlüsse machen, weil die in die Verschmelzung eingehenden Empfindungen als Empfindungen garnicht zur Erscheinung kommen, sobald nur das Verschmelzungsphänomen eintritt. Sehen wir eine Scheibe mit einem schwarzen und einem weißen Halbkreis vor uns, so haben wir freilich eine räumlich gesonderte schwarze und weiße Empfindung. Dreht sich die Scheibe, so verkürzt sich die Reizdauer sowohl für Schwarz als für Weiß, bezogen auf ein und denselben Netzhautpunkt, so weit, dass eine entsprechende getrennte Empfindung nicht mehr entstehen kann. Was wir aus solchen Versuchen entnehmen können, ist also höchstens ein Schluss über die maximale Dauer des peripheren Reizvorganges, welcher zum Zustandekommen einer einfachen Empfindung bei gemischten successiven Reizen nötig ist, aber durchaus kein Schluss über die Dauer eines entsprechenden Empfindungsvorganges. Dem Weißreiz und dem Schwarzreiz entspricht keineswegs eine Weißempfindung und eine Schwarzempfindung, die miteinander psychisch verschmelzen, wie die entsprechenden Erregungsvorgänge verschmelzen. Eine

solche Weißempfindung und Schwarzempfindung sind nur solange da, als die Drehung nicht erfolgt oder nur langsam vor sich geht. Sie dauern bis zum Stadium des Flimmerns und dieses selbst ist der Übergang zu einem ganz anderen Vorgang, zur Erzeugung der Grauempfindung. Für diese Grauempfindung ist die maximale Zeit der Periodendauer der beiden successiven Reize eine der für sie gültigen Bedingungen objektiver Art. Mit den Empfindungsvorgängen hat diese Bedingung aber nichts zu thun. Denn es ist nur ein Empfindungsvorgang, von dem das Bewusstsein in einem solchen Falle etwas weiß, die Grauempfindung. Über die zeitlichen Verhältnisse dieser Grauempfindung lassen sich Schlüsse aber in dem vorliegenden Falle nur bezüglich des Beginnes, nicht bezüglich der Dauer ziehen.

Die ganze Erwägung beruht auf einem Grundsatz, der für den Psychologen selbstverständlich sein sollte, der jedoch noch immer nicht überall anerkannt ist, und von den Physiologen nur zu leicht missachtet wird, dem Grundsatz, dass wir als Empfindungsvorgang nur das anzuerkennen haben, was in der Selbstbeobachtung sich wirklich nachweisen lässt. Die grundsätzliche scharfe Trennung von Empfindung und Reizvorgang kann nicht sorgfältig und genau genug beachtet werden. So sicher derjenige, welcher vor eine genügend schnell gedrehte, aus schwarzen und weißen Sektoren bestehende Scheibe tritt, gar kein Weiß und Schwarz sieht, sondern nur Grau, so sicher dürfen wir auch bei der Zergliederung des Entstehungsprozesses dieser Empfindung nicht von einer Weißempfindung und Schwarzempfindung, sondern einzig und allein von zwei den beiden verschiedenen Reizen entsprechenden Prozessen ausgehen.

Doch suchen wir uns die Verhältnisse noch genauer zu veranschaulichen.

In der nachstehenden Fig. 1 sollen die Parallelen sämtlich

die Zeitlinie bedeuten, so dass also gleiche Abschnitte identischen Zeiten entsprechen.

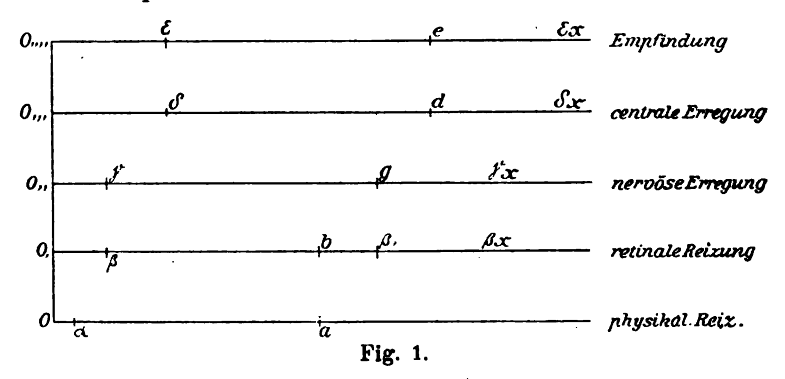


Fig. 1.

Wir tragen auf die einzelnen parallelen Linien die Einzelstadien des ganzen Prozesses der Lichtempfindung auf, um so ihre mögliche zeitliche Beziehung zu einander darzustellen. Es werde ein Netzhautelement von einem Lichtreiz eine gewisse Zeit hindurch getroffen. Es ist dann im Augenblick der Reizung schon eine, wenn auch sehr kurze Zeit verflossen, die Zeit der Fortpflanzung des Lichtes durch den Raum, welche hier vernachlässigt wird. Dann möge die Zeit 0 a der Dauer der Lichtreizung, die Zeit 0 α etwa der Dauer der Lichtreizung eines Zeitelementes, das man beliebig klein sich denken kann, entsprechen. Es folgt der retinale Reizvorgang. Würde er sich ohne Unterbrechung zeitlich dem physikalischen Vorgang anschließen, und würde seine Dauer genau abhängig sein von der Dauer der Lichteinwirkung, so würde seine Zeitstrecke $0,b$ sein und $0,b$ wäre $= 0\,a$. Nun kann aber einerseits die Zeit, welche vergeht, bis die chemische Lichtwirkung auf der Retina in Gang kommt oder bis sie eine für die Fortpflanzung der Erregung in Betracht kommende Größe erreicht hat, größer als ein Zeitelement sein, etwa $= 0,\beta$, andererseits auch die photochemische Zersetzung, welche durch das Licht eingeleitet ist, eine längere

Dauer haben als die Dauer der Lichteinwirkung selbst, also länger anhalten als die Dauer der Lichteinwirkung, vermehrt um die eben genannte Zeitgröße $0,\beta$. Es würde dann der retinale Reizvorgang entweder bis β, dauern $(0,\beta = b\,\beta,)$ oder im zweiten Falle sogar bis βx, wobei die Lage von βx unbestimmt bleibt.

Nehmen wir den Zeitwert der retinalen Reizung so groß, dass der nervöse Leitungsvorgang begonnen hat, so entsteht wieder die Frage, ob die Intensität der Fortpflanzung der Erregung durch die Nerven von vornherein diejenige Größe besitzt, welche für die Erzeugung einer der Empfindung entsprechenden zentralen Erregung ausreicht, oder ob nicht wieder ein Zeitverlust entsteht, sodass die zentrale Erregung δd sein würde, wobei $0_{\prime\prime\prime}\delta > 0_{\prime\prime}\gamma$ ist. Und auch über dies Anhalten der zentralen Erregung gilt wieder dasselbe, wie oben. So gut wir es für möglich halten mussten, dass der retinale Prozess den physikalischen Reiz um eine gewisse Zeit überdauert (bis βx), so gut kann auch die zentrale Erregung wieder den retinalen Prozess überdauern und dadurch der zeitlich schon beträchtlich nach rechts verschobene Vorgang noch wieder länger anhalten, also etwa bis δx. Handelt es sich doch durchweg um Auslösungsprozesse, welche in ihrer Dauer zwar von den Reizen abhängig sind, aber keineswegs notwendig so, dass die Zeiten übereinstimmen müssten.

Wir setzten eben die Dauer der Empfindung εe bezw. $\varepsilon \varepsilon_x = \delta d$ bezw. $\delta \delta_x$, gleich der Dauer der durch den Reizvorgang erzeugten zentralen Erregung. Versteht man hierunter im psychophysischen Sinne die mit der Empfindung parallel gehende Erregung, so gilt diese Gleichung als Bedingung für die Empfindung notwendig. Es folgt dann also aus unserer Deduktion, dass die Dauer der mit der Empfindung unmittelbar verbundenen zentralen Erregung, wie die der Empfindung selbst,

nicht notwendig mit der Dauer irgend eines der bedingenden Vorgänge gleich zu setzen ist, dass die Frage dieser Dauer also eine Thatsachenfrage eigener Art darstellt. Dies recht eindringlich im voraus einzuschärfen, darauf kam es uns an. Theoretisch kann man aber sogar noch einen Schritt weiter gehen. Geht man nicht von einer allgemeinen psychophysischen Grundanschauung, sondern etwa von der Substanztheorie der Seele aus, wie das ja noch häufig genug geschieht, so ist man berechtigt, die obige Erwägung noch fortzuführen. Sind die Empfindungen Vorgänge in einer besonderen Substanz, so finden die sie auslösenden Reize offenbar in dieser Substanz ihre ganz besonderen Bedingungen vor. Es ist dann garnichts gegen die Vorstellung einzuwenden, dass die Dauer der Empfindung auch von der Dauer der ihr entsprechenden zentralen Erregung wieder verhältnismäßig unabhängig ist und sozusagen in der Luft schwebt. Es würde dann die zentrale Erregung nur den Reiz darstellen, auf welche die Seelensubstanz in ihrer Art ganz unabhängig länger oder kürzer reagieren kann. Auch für denjenigen, welcher nicht auf diesem Standpunkt steht, kann diese Betrachtungsweise dazu dienen, in Erinnerung zu bringen, dass die subjektiven Vorgänge nur mit Vorsicht irgendwelchen objektiven Vorgängen unterzuordnen sind. Den Anhängern der Substanztheorie aber läge es auf, die Fruchtbarkeit ihrer Theorie gerade in solchen einzelnen bestimmten Fragen zu erweisen. Es wäre doch im höchsten Grade zu verwundern, wenn die seelischen Erscheinungen thatsächlich Äußerungen einer besonderen Substanz wären und doch so geartet, dass ihr Verhalten demjenigen genau entspräche, welches bei Geltung der entgegengesetzten Grundanschauung, der psychophysischen, erwartet werden kann. Nicht also etwa um die Substanztheorie zur Geltung zu bringen, habe ich dies hinzugefügt, sondern nur um gelegentlich zu zeigen, in welcher Weise dieselbe im Einzelnen

durch die Thatsachen bestätigt werden müsste, falls sie richtig sein sollte.

Diese Veranschaulichung der allgemeinen Lage der verschiedenen zeitlichen Verhältnisse kann zugleich zur Verdeutlichung der Behauptung dienen, dass die Verschmelzungsthatsachen, welche Gegenstand des Talbotschen Gesetzes sind, keine Art von Rückschluss auf die Dauer der Lichtempfindung ermöglichen. Eine bestimmte Grauempfindung entsteht sowohl bei gleichmäßig verteiltem und zur Wirkung kommendem Licht bestimmter Intensität, als auch bei Einwirkung von Lichtern verschiedener Intensität von gleichem mittleren Wert, so sagt das Talbotsche Gesetz, und fügt hinzu, dass die Zeiten der Einwirkung der Lichter verschiedener Intensität über gewisse maximale Grenzen nicht hinausgehen dürfe, damit die gleiche Grauempfindung entstehen kann. Der gleichen Grauempfindung werden wir den gleichen unmittelbaren zentralen Erregungsvorgang zu Grunde zu legen haben. Dieser gleiche zentrale Vorgang ist aber in dem einen Fall durch konstantes, im anderen Fall durch wechselndes Licht entstanden. Es wird also anzunehmen sein, dass schon innerhalb des peripheren Reizvorganges eine Ausgleichung der beiden verschiedenen Wirkungsarten stattgefunden hat. Das Talbotsche Gesetz und die damit zusammenhängenden zeitlichen Untersuchungen beantworten demnach die Frage, innerhalb welcher zeitlichen Grenzen intermittierend wirkende Lichter verschiedener Intensität die gleichen Lichtprozesse hervorzubringen im stande sind wie eine gleichmäßig wirkende Lichtquelle von der mittleren Intensität, und nicht die Frage nach der Dauer der Empfindungen, welche aus den Reizen folgen würden, falls dieselben isoliert vor sich gingen.

2. Über eine ältere Arbeit Exners über die Dauer der Lichtempfindungen und deren Versuchseinrichtung.

Dass die entwickelten Gesichtspunkte richtig sind und eine richtigere Würdigung des Vorganges der Lichtperception ermöglichen, kann sich erst im Laufe des folgenden bestätigen. Die weitere Untersuchung ging von derjenigen Arbeit in der deutschen Litteratur aus, welche meines Wissens bisher als grundlegend für die Kenntnis der Zeitverhältnisse der Lichtwahrnehmung gegolten hat, von der Arbeit Exners, die er noch als Student unter Helmholtz Leitung verfasst hat: Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit (Sitzungsberichte der kaiserl. Akad. der Wissensch. Bd. VIII nat. mat. Cl. Wien 1868). Wir werden es nicht umgehen können, uns mit dieser Arbeit genauer zu beschäftigen. Ihre Lektüre hatte den Zweifel an der Richtigkeit der Ergebnisse aus ähnlichen Erwägungen, wie die oben angestellten, erweckt. Die Nachprüfung des Exnerschen Verfahrens führte zu der Einsicht, dass der von ihm benutzte Apparat den berechtigten Anforderungen nicht genüge, und dass seine Ergebnisse nicht als richtige Lösung der vorliegenden Fragen gelten können. Es führte dies zur Konstruktion eines nicht ganz einfachen neuen Apparates, der aus einer völligen Umgestaltung des früheren Exnerschen hervorging. Eine Schilderung dieses alten Apparates und eine sich daran anschließende Kritik der Exnerschen Arbeit wird daher voranzuschicken sein.

Die hier in Rede stehenden Versuche zur Prüfung der Ergebnisse Exners wurden von mir schon im Jahre 1896 angestellt. Der Exnersche Apparat in genauer Nachbildung war damals von der Firma Diedrichs in Göttingen in Vertrieb gebracht. Auch der zum Treiben des Apparates nötige Elektro-

motor wurde in der ehrwürdigen Form mitgeliefert, welche er von Helmholtz als eine der ersten derartigen Maschinen erhalten hatte, jedoch von mir sehr bald durch einen leistungsfähigen modernen Motor ersetzt. Für uns kommt nur der zweite „Apparat zur Unterbrechung des Lichteindruckes“ in Betracht, dessen Abbildung Fig. 2 bietet und dessen Beschreibung ich möglichst kurz, aber doch, so oft es geht, mit Exners eigenen Worten folgen lasse (vergl. Exner, a. a. O. S. 607 bis 610).

„Der Apparat besteht im wesentlichen aus zwei parallel gestellten kreisförmigen Scheiben, deren Mittelpunkte in derselben auf die Ebene der Scheiben senkrechten Geraden liegen. Beide besitzen einen Ausschnitt und sind um ihren Mittelpunkt drehbar, und zwar wird die Rotation der einen Scheibe mittelst Zahnräder auf die andere übertragen. Da sie ungleiche Geschwindigkeiten haben, so werden zu besonderen Zeiten die Ausschnitte der beiden Scheiben in derselben der Drehungsachse parallelen Richtung liegen. Dem passend gestellten Auge des Beobachters werden also nach je einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen die beiden Ausschnitte koincidieren und einen in ihrer Richtung aufgestellten Gegenstand sichtbar werden lassen. Derselbe bleibt nur solange sichtbar, als es die Spaltbreite der schneller rotierenden Scheibe erlaubt. Damit er nicht zu bald wieder sichtbar wird, verdeckt nach einer Umdrehung derselben die zweite Scheibe das Bild. Die Dauer der Sichtbarkeit lässt sich aus der bekannten Winkelgeschwindigkeit der Scheiben in der Größe ihrer Ausschnitte berechnen.“

Diese Einrichtung zweier kombinierter Scheiben von verschiedener Geschwindigkeit und eines abstufbaren Ausschnittes ist sichtlich so praktisch für das Studium von Lichteindrücken, dass sie auch bei dem später zu beschreibenden neuen Apparat als Grundlage beibehalten ist, während alle folgenden Einzelheiten abgeändert werden mussten. Über diese kann ich um

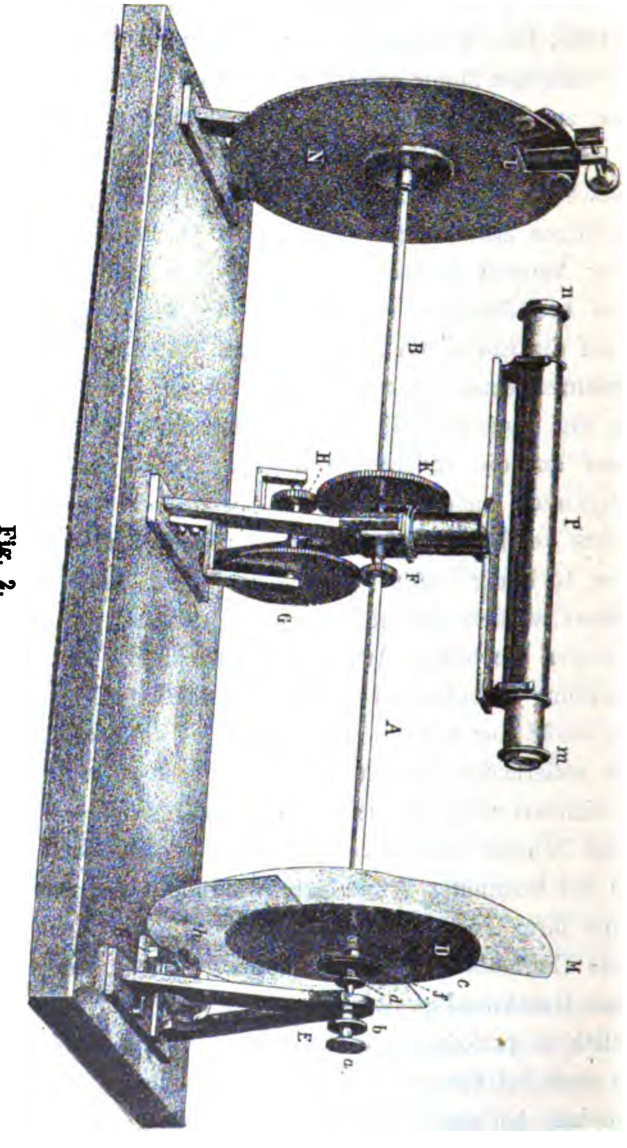


Fig. 2.

so kürzer sein, als aus der Abbildung das Wichtigste von selbst hervorgeht.

Bei *f* ist die zugleich mit der Scheibe *D* durch die Schraubenmutter *d* auf der Achse festgehaltene, mit einer Nute versehene Drehscheibe zu sehen, welche durch eine Schnur ohne Ende mit dem Motor zum Gebrauch verbunden werden kann.

Die Räder waren so eingerichtet, dass die Achse *A* und ihre Scheibe 12 Umdrehungen machte, während die Scheibe *N* an der Achse *B* sich nur einmal drehte. Bei *l* war ein Spalt in der Scheibe *N*, der durch eine Schraubeneinrichtung erweitert und verengert werden konnte. Die Scheibe *D* bestand aus zwei konzentrischen Messingscheiben (wie *D*), von welchen die nicht sichtbare vordere Scheibe fest an der Achse befestigt, die hintere *D* dagegen beweglich war. Sie wurde zugleich mit der Drehscheibe durch die Schraubenmutter *d* an die vordere Scheibe gepresst. Zwischen diese beiden Messingscheiben konnten nach Bedarf weiße oder schwarze Kartonscheiben, mit den nötigen Ausschnitten eingeschaltet und festgeklemmt werden. Die Beobachtung geschah durch den Spalt bei *l* mit Hilfe eines kleinen Fernrohres. Das mittlere Achsenlager trug eine weitere optische Einrichtung, den Tubus *P* mit zwei Sammellinsen an beiden Enden von gleicher Brennweite, die ein Viertel der Entfernung der beiden Scheiben M und N betrug. „Die Linsen sind so gestellt, daß die Entfernung der Scheibe *M* von der Linse *m*, die Entfernung dieser von der Mitte des Tubus *P*, ferner die Entfernung der Linse *n* von dieser Mitte, endlich die Entfernung von *n* bis zum Spalt *l* gleich groß sind."

„Durch diesen optischen Teil des Apparates ist bewirkt, dass das Bild eines fernen (nehmen wir an in unendlicher Entfernung befindlichen) Gegenstandes, der sich in der Verlängerung der optischen Achse von *m* und *n* befindet, wenn die Scheibenausschnitte ihre höchste Stellung einnehmen, durch die Linse *m*

in den Brennpunkt und von diesem, da er zugleich jener von n ist, in unendliche Entfernung geworfen wird und als solches durch das Fernrohr betrachtet werden kann.“ „Dreht sich die Scheibe M soweit, dass der Rand der Peripherie in die optische Achse fällt, so wird von diesem, da er im Brennpunpte von m liegt, mittelst der Linse n ein Bild in der Ebene des Spaltes l entworfen, der durch das Fernrohr betrachtet ein Zerstreuungsbild giebt, welches als ein gleichförmiger Nebel den entfernten Gegenstand bedeckt und bei weiterer Drehung verschwinden macht. Da dieses Bild des Spaltendes in der Ebene der Pupille des beobachtenden Auges liegt, so wird die Zeit, welche vom Beginne bis zum vollendeten Bedecken des beobachteten Gegenstandes vergeht, gleich sein der Zeit, welche das Bild braucht, um eine der Breite der Pupille gleiche Strecke zurückzulegen, so dass durch diese Einrichtung auch die Zeitdauer der Verdeckung des Beobachtungsgegenstandes möglichst klein gemacht wird“ (S. 610).

Soviel über den Apparat, nunmehr die Versuche und deren Begründung.

Exner beginnt seine Untersuchung mit der Bemerkung, dass schon die tägliche Erfahrung lehre, dass die zur Wahrnehmung eines Gegenstandes durch den Gesichtssinn nötige Zeit sehr verschieden sein kann. Alle Mittelstufen können vorkommen, »von der unmessbar kurzen Dauer eines sichtbaren elektrischen Funkens bis zur mühsamen Wahrnehmung eines Gegenstandes im Dunkeln«. Das ist gewiss richtig; nur handelt es sich hier um ganz verschiedene Fälle. Unmessbar kurz ist die Dauer eines elektrischen Funkens als physikalischer Reiz für das Auge, während die Mühseligkeit der Wahrnehmung im Dunkeln bei kurzen wie langen Reizen besteht, also in anderen Umständen begründet ist. Auf die Sonderung dieser Umstände, auf die Aufzeigung der zeitlichen Verhältnisse der verschiedenen Stadien

des Vorganges, auf den Unterschied der Zeit der Lichtempfindung von der der Reizvorgänge kommt es an.

Exner legt dagegen seiner Betrachtung ein viel zu einfaches Schema des Lichtperceptionsvorgangs zu Grunde, in welches trotz seiner einfachen Gestalt auch noch die verwickelten Vorgänge des positiven und negativen Nachbildes einbezogen werden. Er geht von der Annahme aus, dass »da zur Erreichung eines bestimmten Grades der Veränderung im Zustande der Netzhaut eine gewisse Quantität der einwirkenden Kraft nötig sein muss«, diese Kraft erst nach einer bestimmten Zeit das Maximum ihrer Wirkung hervorgebracht haben wird. Nach Erreichung des Maximums muss die Intensität der Wirkung infolge eintretender

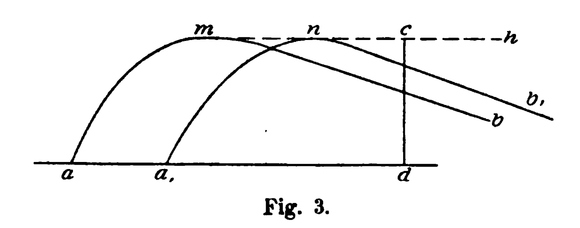


Fig. 3.

Ermüdung wieder abnehmen. Die Reizungskurve hat daher nach Exner einen „kurzen aufsteigenden Ast, ein Maximum und einen absteigenden Ast“ (S. 611). In Wirklichkeit, so wird sich zeigen, ist der absteigende Ast, so gut wie der aufsteigende beim gewöhnlichen Sehen sehr kurz, auch haben die Kurven in den verschiedenen Fällen in Wirklichkeit ein recht verschiedenes Aussehen. Indem nun noch die positiven und negativen Nachbilder in dies so schon zu enge Schema hineingezogen werden, entsteht eine unheilvolle und fast unauflösbare Verwirrung. Gerade in dem Vorhandensein der beiden Arten Nachbilder sieht Exner den Beweis für die Richtigkeit des Schemas. Das negative Nachbild ist ihm der Beweis für den Abfall der Kurve. Er deduziert folgendermaßen: „Wenn *a b* (Fig. 3) die Reizkurve

für die erstgereizte Netzhautstelle ist und *a, b,* dieselbe für die später gereizte, so müssen dieselben, welche Gestalt sie auch immer haben mögen, kongruent sein, da sie durch gleiche Reizmittel — und natürlich auch sonst unter gleichen Umständen — erzeugt sind. Würden sie nicht abfallen, sondern längs der Linie *m h* verlaufen, so würde von *n* an kein Unterschied im Reizungszustand der beiden Netzhautstellen vorhanden sein. Sie fallen aber in Wirklichkeit ab und Folge davon ist, dass z. B. in *c d* die Kurve, welche später begonnen, höher, jene, welche früher begonnen, niedriger ist. Es muss also die Netzhautstelle, welche *a b* lieferte, trotzdem dass auf sie dasselbe Reizmittel wirkt wie auf die andere, weniger intensiv empfinden, d. h. der Gegenstand muss im negativen Nachbild erscheinen. Natürlich muss hierbei der Zeitunterschied des Anfanges der Kurven kein zu geringer sein.“ Diese letztere Bedingung schränkt offenbar die ganze Deduktion erheblich ein. Nun ist weitere Bedingung für die Entstehung des negativen Nachbildes bekanntermaßen die Fixation des Reizes und das Vorhandensein eines dunkleren Hintergrundes. Von alle dem ist hier nicht die Rede und die einzige Bedingung, die erwähnt ist, dass der Zeitunterschied des Anfanges der beiden Kurven nicht zu gering sein darf, ist bei den folgenden Versuchen nicht eingehalten. Es handelt sich dabei ausnahmslos um geringe Zeitunterschiede. Also ist die Gleichsetzung des negativen Nachbildes mit dem Abfall der Kurve falsch und damit dieser Abfall in seiner Form durchaus fraglich.

Was das positive Nachbild betrifft, so sind die Voraussetzungen Exners nicht weniger anfechtbar. „Es ist“, sagt Exner, „wenn es sich um Wahrnehmung eines Bildes von sehr kurzer Zeit handelt, das positive Nachbild desselben von wesentlicher Bedeutung; da es seiner langen Dauer wegen eine selbst geringe Erregung zum Bewusstsein bringen kann. Man kann

sich hiervon leicht überzeugen, wenn man einen Eindruck, etwa wie früher durch einen weißen Kreis geliefert, auf welchen durch Vorrücken der Scheibe ein grelles Weiß folgt, so kurz wirken lässt, dass das betreffende Bild nicht wahrgenommen wird. Ersetzt man dann das grelle Weiß durch Schwarz, so dass das positive Nachbild sich entwickeln kann, so ist es vollkommen deutlich wahrnehmbar: Diesen Umstand benutzte ich zur zeitlichen Bestimmung des Maximums der Kurven bei verschiedenen Reizintensitäten.“ Was hier positives Nachbild genannt wird, würde in Wirklichkeit die über den Reiz hinaus dauernde aktuelle Empfindung sein. Diese Dauer soll ja auch gefunden werden. Insofern würde, da es auf den Ausdruck nicht ankommt, der bezeichnete Weg zum Ziele führen. Aber die Versuchsbedingungen sind hier gerade so gedacht, dass das hier als positives Nachbild Bezeichnete, die zu beobachtende Empfindung, garnicht zur Erscheinung kommen kann. Das verschiedene Verhalten in den beiden von Exner geschilderten Fällen hat einen ganz anderen Grund, dessen Nichtbeachtung für die ganzen Versuche verhängnisvoll geworden ist. Bei den zwei kurz aufeinander folgenden Reizen entsteht beidemal eine Gesamtwirkung, die in ihrer Qualität von den zusammenwirkenden Intensitäten bedingt ist. Ein weißer Reiz mit nachfolgendem Schwarzeindruck wird zu einem weniger hellen Grau. Folgt dagegen ein greller zweiter Weißreiz, so verschwindet in diesem der erste helle Reiz, ähnlich wie eine sehr schnell wachsende Lichtintensität als ein einziger starker Eindruck aufgefasst wird. Die Überlegung Exners wäre auch für den ersten Fall nur richtig, falls der Schwarzreiz als eine wirkliche Unterbrechung, als ein wirkliches Abschneiden der Reizung aufgefasst werden könnte. Das sogenannte Nachbild tritt hier also in keinem Falle wirklich auf.

Das weitere Verfahren steht nun ganz unter dem Einfluss

dieser falschen Voraussetzungen. Das Prinzip der Untersuchung als solches ist durchaus klar. Es kommt darauf hinaus, dass bei zeitlich sich schnell folgenden Eindrücken die beiden Momente festgestellt werden sollen, in welchem die Eindrücke noch nicht und in welchem sie nicht mehr gleich erscheinen, noch nicht, weil die Maximalhelligkeit des einen noch nicht ganz erreicht ist, nicht mehr, weil diese beim anderen schon abklingt. Den ersten Moment will er feststellen durch das Abschneiden des „positiven Nachbildes“ vermittelst eines folgenden Schwarzreizes, den zweiten Moment durch das „negative Nachbild.“ Nun aber ist das Abschneiden des „positiven Nachbildes“ durch einen folgenden Dunkelreiz überhaupt unmöglich, und das negative Nachbild kann unter den gesetzten Versuchsbedingungen gar nicht entstehen. Was Exner als negatives Nachbild beobachtet hat, ist denn thatsächlich auch etwas ganz anderes gewesen.

Wir werden das bestätigt finden, wenn wir die Versuchsanordnung selbst untersuchen. Das runde Sehfeld des Fernrohres war längs seines vertikalen Durchmessers in zwei Halbkreise geteilt, deren einer schwarz, der andere weiß war; ein Schirm aus schwarzem Sammet, halb mit weißem Papier beklebt, diente als Beobachtungsobjekt. Das Bild, welches bei freiem Durchblick sich zeigte, hatte also die Form der Figur 4. Von diesem Objekt trat zuerst der weiße Halbkreis für den Beschauer auf, indem dieser Teil sich zuerst abdeckte. Das von ihm ausgehende Licht stellte den ersten Reiz dar. Dann wurde der zweite Halbkreis sichtbar und blieb es neben dem ersten, solange als der Ausschnitt der rotierenden Scheibe es gestattete. Exner suchte nun zuerst diejenige Größe des „Spaltes“, besser Ausschnittes, der abdeckenden weißen Scheibe (M), bei welcher man den Halbkreis eben nicht mehr wahrnahm. In diesem Falle



Fig. 4.

schien die gewünschte Versuchsbedingung, kurz nacheinander zwei gleiche Reize dem Auge zu bieten, hergestellt zu sein. Denn der erste, schon ursprünglich weiße Halbkreis wurde durch die abdeckende weiße Scheibe von gleicher Helligkeit nicht verändert, und der zweite, ursprünglich schwarze Halbkreis wurde durch den sich überdeckenden weißen Sektor der abdeckenden Scheibe ersetzt. Außer den weißen Sektoren der Scheibe *M* standen aber weiter noch schwarze Sektoren zur Verfügung, welche nun wieder ihrerseits den eingetretenen Prozess der beiden Netzhautreizungen unterbrechen sollten. „War dies geschehen, so wurden natürlich unter Beibehaltung der Größe des Spaltes die schwarzen Sektoren eingeschoben und anfangs so weit über das Weiß gegen das Ende hin vorgerückt, dass bei Rotation des Apparates der zu beachtende Halbkreis deutlich sichtbar wurde, und dann durch allmähliche Entfernung des Schwarz vom Ende des Spaltes (also Vergrößerung des weißen Teiles der Scheibe) der Punkt gesucht, bei welchem der Halbkreis nicht mehr sichtbar war.“ Damit soll die Bedingung erfüllt sein, dass die beiden kurz nacheinander dem Auge dargebotenen Reize wieder unterbrochen werden und zwar so, dass ihre auf der Zeitdifferenz des Anklingens beruhende Verschiedenheit gerade nicht mehr erkennbar ist. „Ebenso wurde, nachdem die schwarzen Sektoren so weit vom Spalt entfernt wurden, dass ein deutliches negatives Nachbild des weißen Halbkreises zum Vorschein kam; durch allmähliche Annäherung derselben an den Spalt wieder der Punkt gesucht, bei welchem das negative Nachbild nicht mehr zum Vorschein kam.“ Dieses negative Nachbild tritt angenommener Weise kurz vor dem stärkeren Abklingen auf, wenn die Eindrücke noch nicht verschieden genug geworden sind. Zusammenfassend und diese Auffassung bestätigend sagt Exner: „Der Moment der Abdeckung des weißen Halbkreises der rotierenden Scheibe *M* entspricht dem Beginne

der ersten Kurve, das Vorrücken der Scheibe *M*, also das Auftreten des ergänzenden Halbkreises, dem Beginne der zweiten Kurve, und die Momente, in welchen einerseits kein positives, andererseits kein negatives Nachbild, bei Unterbrechung der Reizung durch Schwarz, mehr wahrgenommen wird, den Grenzen, zwischen welchen der Durchschnittspunkt der Kurve liegen muss. Die Länge des auf der Scheibe angebrachten Weiß repräsentiert also die Zeit, die zwischen Beginn der zweiten Kurve und diesen Grenzen vergeht.“

Wir haben durch die Kritik der Voraussetzungen Exners den Nachweis der Unrichtigkeit dieser Deduktion schon erbracht. Schwarze Sektoren unterbrechen nicht den hellen Eindruck, sondern führen zu einer mittleren Wirkung. Thatsächlich wurde hier auf der einen Seite eine Succession von Schwarz, Weiß, Schwarz, Weiß auf der anderen Seite eine solche von Weiß, Schwarz, Weiß geboten. Das „positive Nachbild“ war ein aus Schwarz und Weiß entstehender Mischeindruck, das negative Nachbild, für welches die nötigen Bedingungen gar nicht vorlagen, gar nur die Grenze der beiden Halbkreise. Exner bemerkt selbst in einer Anmerkung (S. 615): „Dieses negative Nachbild ist begreiflicherweise nicht sehr deutlich, es erschien bei meinem Beobachtungsgegenstand immer als ein vertikaler Streifen, der durch Kontrast besonders hervortretenden Grenze entsprechend.“ Also die Grenze der bei den verschiedenen Reizfolgen notwendig verschieden hellen beiden Halbkreise diente als Ersatz für das bei so kurzen Reizen überhaupt nicht beobachtbare, aber von Exner geforderte Nachbild. (Man vergl. auch Kunkel, Pflüg. Arch. Bd. IX, 1874. Über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit.)

Zur Bestätigung und zur Aufklärung über das, was bei dieser Methode wirklich beobachtet wird und allein beobachtet werden kann, wenn man nur auf die Helligkeit des Gesehenen zu achten nicht unterlässt, will ich aus meinen Versuchen mit

dem Exnerschen Apparat nur eine Reihe mitteilen, welche allerdings dem obigen Falle nicht genau entspricht, aber gerade durch die noch größere Einfachheit die geschilderten Verhältnisse klarlegt. Hier betrug die Größe des ausgeschnittenen Sektors 90° (ganzes Feld in Tab. I). Beobachtet wurde, wie bei Exner, das schwarze (s) und weiße (w) Feld (Fig. 3). Abgedeckt wurde dieses nur durch weiße Sektoren, die allmählich immer weiter vorgezogen wurden (weißer Sektor in Tab. I), so daß also der Ausschnitt sich entsprechend verkleinerte.

Tabelle I.

Reag. M. 18. XII. 96. Zeit: 34 sec. für 10 Umdrehungen.

I Ganzes Feld	II w Sektor	Helligkeit des w Halbkreises.
90°	10°	Nur der w (l) Halbkreis zu sehen.
	20°	Noch deutlich ein sw Gesichtsfeld, s ein klein wenig heller als in Ruhe.
	30°	Das s rechts wird heller, dunkelgrau.
	40°	Wie oben, r etwas heller.
	50°	Das Grau r etwa mitten zwischen s und w.
	60°	Das Grau nähert sich dem w.
	70°	Das Grau etwa in der Mitte zw. einem mittleren grau und w.
	80°	Der rechte Halbkreis noch heller.
	85°	Nur geringer Unterschied zwischen r u. l.
	87°	Teilung noch meist bemerkbar, rechts noch immer etwas heller.
	88°	Teilung noch meist gesehen.
	89°	Meist weder Grenze noch Helligkeitsunterschied.

Da die Zeit I—II der Dauer des schwarzweißen Eindrucks entspricht, zeigte sich also, dass bei der gegebenen Versuchsanordnung, selbst wenn diese Dauer auf 1° (89) beschränkt wurde, das Phänomen der Verschmelzung nicht aufhörte, dass die Teilung oder das sogenannte »Nachbild« auch dann noch zu sehen war. So in sich übereinstimmend und so gesetzmäßig

also auch die Versuchsergebnisse der Arbeit Exners sich darstellen, einen wirklichen Wert können sie nicht für sich in Anspruch nehmen. Die von Exner gefundenen Zeiten für die Erreichung der Maximalhelligkeit sind für 4 verschiedene Intensitäten, von denen die folgende immer das Doppelte der vorhergehenden beträgt 287 σ, 246 σ, 300 σ, 150 σ. Wären diese Zeiten richtig, so müsste das Ansteigen der Erregung bei der Auffassung der im gewöhnlichen Leben vorkommenden Helligkeiten bemerkbar sein. Denn dass Vorgänge von solcher Länge dem Bewusstsein sich nicht entziehen können, darüber dürfte heute ein Zweifel nicht mehr bestehen. Schon dies hätte die Unrichtigkeit der gefundenen Zeiten darthun können. Nach einer anderen Versuchsreihe wächst die zur Wahrnehmung von Lichtern verschiedener Intensität nötige Zeit der 5 von Exner angewendeten Lichtstufen von 76 σ bis 187 σ. Auch die Kurven des allmählichen Ansteigens einer intensiveren Lichtreizung oder des Anklingens der betreffenden Empfindung wurden von Exner dargestellt, indem er feststellte, in welchen Zeiten ein Reiz einem anderen gleich erschien, der sich von dem Endreize um je $^1/_{10}$ unterschied. Die gefundene Tabelle ist folgende:

Tabelle II.

Erreichte Intensität	Nach Wirkungsdauer von	Erreichte Intensität	Nach Wirkungsdauer von
$^1/_{10}$	0,008 sec.	$^6/_{10}$	0,058 sec.
$^2/_{10}$	0,023 „	$^7/_{10}$	0,081 „
$^3/_{10}$	0,037 „	$^8/_{10}$	0,104 „
$^4/_{10}$	0,040 „	$^9/_{10}$	0,127 „
$^5/_{10}$	0,049 „	1	0,166 „

Von den weiteren Versuchen und Versuchsergebnissen sehe ich ab, da wir schon länger als es wohl sonst üblich ist, uns mit dieser Arbeit beschäftigt haben. Die Mühe wird indessen

nicht vergeblich sein, wenn die Überzeugung, dass das hier zu Grunde gelegte Schema viel zu einfach ist, dass ferner mit dem zu untersuchenden Wahrnehmungsvorgang unberechtigter Weise ganz anders geartete Vorgänge, wie die Nachbilderscheinungen vermischt sind, dadurch auch für den Leser begründet sein sollte. Auch ist die Einsicht, dass erst eine volle Berücksichtigung der psychologischen Thatsachen in ihrer Eigenart zum Verständnis des Wahrnehmungsvorganges auch nach seiner physiologischen Seite führen kann, keineswegs ohne allgemeinen methodologischen Wert.

Die Beschäftigung mit der Arbeit Exners musste zugleich zu der Einsicht führen, dass der von ihm benutzte Lichtunterbrechungsapparat den an einen solchen zu stellenden Anforderungen nicht völlig entspricht.

Ein solcher Apparat muss eine bequeme Vergleichung zweier Lichteindrücke zulassen, die voneinander unabhängig begrenzt werden. Es muss durch ihn die Zeit der Lichteinwirkung genau gemessen werden können, und es muss vor allen Dingen die Unterbrechung der Lichteindrücke eine wirklich augenblickliche, der Unterbrechungsvorgang ein so kurzer sein, dass die Unterbrechungszeit auch gegenüber den kürzesten Reizzeiten nicht in Betracht kommt. Diese Gesichtspunkte liegen dem neuen Apparat, von dem Fig. 5 bis 9 eine Darstellung geben, zu Grunde.

Zur Ermöglichung des Vergleiches eines Lichteindrucks mit einem zweiten wurde die Exnersche Anordnung verdoppelt. Die Einrichtung wurde so getroffen, dass sie eine gleichzeitige Beobachtung mit zwei Augen ermöglicht. Es schliesst das nicht aus, dass ebensogut successiv mit ein und demselben Auge beobachtet werden kann.

Die leichteste und mannigfaltigste Lösung lässt die Aufgabe der Zeitmessung zu. Bei dem Exnerschen Apparate musste

die Umdrehungszahl für eine gewisse Zeit festgestellt werden. Dabei ist die Voraussetzung, dass der benutzte Motor so regelmäßig geht, dass seine Schwankungen innerhalb der Versuchszeit nicht in Betracht kommen. Diese Voraussetzung wird aber nicht leicht zutreffen, zumal wenn man mit Akkumulatoren arbeitet und der Apparat eine ziemlich beträchtliche Kraftleistung erfordert. Eine stetige Kontrolle der Gleichmäßigkeit des Ganges ist dann notwendig. Die von uns getroffene Einrichtung gestattet, diese Kontrolle mit der Zeitmessung zu verbinden. Es wurde eine besondere Kontaktscheibe auf der langsamen Drehachse angebracht (vergl. S. 306 *R* in Fig. 8), deren Oberfläche das leitende Messing zum Teil frei zeigt, zum andern Teil mit einer isolierenden Masse (Guttapercha) abgedeckt ist. Eine auf dieser Scheibe schleifende Feder vermittelt den Schluss eines Stromkreises, der durch ein Hippsches Chronoskop geleitet wird. Bei den Versuchen war die Dauer des Kontaktes meist so groß gewählt, dass die am Chronoskop abzulesende Zeit gleich 10 000° der vorderen schnelleren Scheibe war. Dann ist die Zeit des Vorübergangs eines Ausschnittes dieser Scheibe durch eine ganz leichte Rechnung zu finden (vergl. S. 316). Zugleich kann der Experimentator, indem er die Chronoskopzeiten während der Dauer eines Versuches fortwährend abliest, feststellen, ob die jedesmal gewollte Umdrehungsgeschwindigkeit des Apparates wirklich konstant bleibt. Sobald Abweichungen bemerkt werden, erlaubt ein Widerstand in der Motorleitung die nötigen Änderungen vorzunehmen.

Am schwierigsten ist die richtige Einrichtung des Unterbrechungsmechanismus selbst. Hier konnte bei Beibehaltung der Exnerschen Anordnung im allgemeinen nur eine zweckmäßige Lichtleitung zum Ziele führen. Stellt man sich vor, das von einer Lichtquelle ausgehende Licht werde durch eine Sammellinse so abgelenkt, dass der Brennpunkt gerade in die Ebene der Scheibe

eines sich sehr schnell drehenden Apparates, wie des unsrigen, fiele, so muss offenbar die Scheibe beim Durchgang durch den Brennpunkt völlig momentan abblenden; ein in einer solchen Scheibe befindlicher Ausschnitt wird das Licht genau der Zeit des Umlaufs dieses Ausschnittes entsprechend durchlassen. Dieselbe Wirkung lässt sich aber erreichen, wenn man zwischen die Lichtquelle und die Unterbrechungsscheibe einen Schirm oder ein Diaphragma mit punktförmiger Öffnung, so groß etwa wie ein Stecknadelkopf, bringt. Lässt man die Scheibe sehr nahe diesem Schirm oder Diaphragma rotieren, so wird auch hier die Unterbrechungszeit einen sehr geringen Wert haben. Diese zweite Einrichtung hatte den Vorzug, dass sie an der vorhandenen optischen Einrichtung des Exnerschen Apparates mit Leichtigkeit anzubringen war, ohne dass noch irgend eine weitere Änderung erforderlich gewesen wäre. Dieser Umstand wurde bestimmend, den zweiten Weg zu wählen. Ein Übelstand ist freilich dadurch bedingt. Die Lichtstärke wird durch ein solches Diaphragma unnötiger Weise abgeschwächt. Es sei daher darauf aufmerksam gemacht, dass die zuerst angegebene Einrichtung an dem Apparat, wie er jetzt vorliegt, mit Leichtigkeit ebenfalls angebracht werden kann, wenn nur die Anordnung der optischen Mittel dementsprechend abgeändert wird.

Die Ausführung des Apparates wurde von der Firma Penning, mechanische Werkstatt in Bonn (damals Penning und Heuwing), übernommen. Die Überwachung der Ausführung und der Konstruktion im Einzelnen besorgte Herr Dr. Rostosky, damaliger Assistent des Bonner psychologischen Laboratoriums. Auf ihn ist auch die Diaphragmaeinrichtung und die gewählte Übertragungsart für die Zeitmessung zurückzuführen.

Der auf diese Weise entstandene Apparat, mit welchem ein Teil der unten mitgeteilten Versuche ausgeführt worden ist, zeigte jedoch einen Übelstand, welcher die Veranlassung wurde,

dass ich bei Gelegenheit der durch meine Übersiedelung nach Kiel bedingten Unterbrechung der Versuche von der Firma Penning ein zweites verbessertes Exemplar anfertigen ließ, welches allein den Abbildungen und der folgenden genauen, von Herrn cand. phil. Minnemann übernommenen Beschreibung zu Grunde liegt. Der Unterschied von dem ersten Apparat besteht erstens darin, dass der Teil, welcher die optische Einrichtung trägt, bei dem neuen Apparat von dem eigentlichen Drehmechanismus ganz und gar getrennt ist (vergl. S. 303 *B* in Fig. 6). Wenn auch der Apparat dadurch etwas verwickelter und seine Aufstellung etwas erschwert erscheint, so ist doch seine Brauchbarkeit erheblich erhöht, seine Verwendung erleichtert. Die Erschütterung durch die außerordentlich schnelle Drehung war bei dem alten Apparat so groß, dass sie nur mit Mühe soweit abgestellt werden konnte, dass die optische Anordnung nicht weiter dadurch beeinflusst wurde. Es hatte zu dem Zwecke der Apparat mit seiner Unterlage auf starke eiserne Stangen aufgeschraubt und diese in die Wand eingemauert werden müssen. Ferner war bei dem ersten Apparat das Beobachtungsfernrohr von dem Stativ für die Lichtleitungseinrichtung getrennt, so dass die richtige Abpassung der beiden Teile der optischen Einrichtung (Fig. 8) auf einander viel Mühe machte. Das Verhältnis endlich der Geschwindigkeiten der Räder des ersten Apparates betrug 48. Der zweite Apparat lässt nach Bedarf drei verschiedene Geschwindigkeitsverhältnisse zu, die noch mit Leichtigkeit vermehrt werden können[1]).

---

1) Die Firma Penning hat sich zur Lieferung des Apparates bereit erklärt.

3. Ein neuer Lichtunterbrechungsapparat.

(Beschrieben von Karl Minnemann.)

Der neue Lichtunterbrechungsapparat besteht im wesentlichen aus zwei getrennt aufgebauten Teilen: dem eigentlichen Unterbrechungsmechanismus und der optischen Einrichtung. Der Unterbrechungsmechanismus befindet sich in einem aufklappbaren Kasten *A* (Fig. 5) auf einem vierbeinigen Bock, die optische Einrichtung liegt mit ihrer Schiene *B* auf einem etwas kleineren dreibeinigen Bocke. Beide Böcke sind an dem Fußboden befestigt und haben Fußschrauben für horizontale Einstellung.

Die beiden Teile der optischen Einrichtung stehen auf den Enden der Schiene *B* in der Weise, dass der erste Teil in den Kasten des Unterbrechungsmechanismus hineinragt, der zweite sich in einem geräumigen Beobachterkasten *C* befindet, der durch schwarze Vorhänge verschlossen wird. Beobachterkasten und Kasten des Unterbrechungsapparates sind durch einen schwarzen Tucheinsatz *D* miteinander verbunden.

Der Unterbrechungsmechanismus (Fig. 6 seitliche, Fig. 7 obere Ansicht) besteht aus zwei Paaren parallel gestellter Kreisscheiben *AB* und *CD* (Fig. 7), die an vier drehbaren Achsen *abcd* befestigt sind. Die Achsenpaare *ab* und *cd* laufen parallel, während die zusammengehörigen Achsen *a* und *b*, sowie *c* und *d* eine gerade Linie bilden. Die Scheiben sind mit verstellbaren Ausschnitten $\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta$ versehen und drehen sich mit verschiedener Geschwindigkeit. Während sich die Scheiben *A* und *C* einmal drehen, machen die Scheiben *B* und *D*, die durch Übertragungsräder mit ihnen in Verbindung stehen, 32, 64 oder



Fig. 5.



Fig. 6.

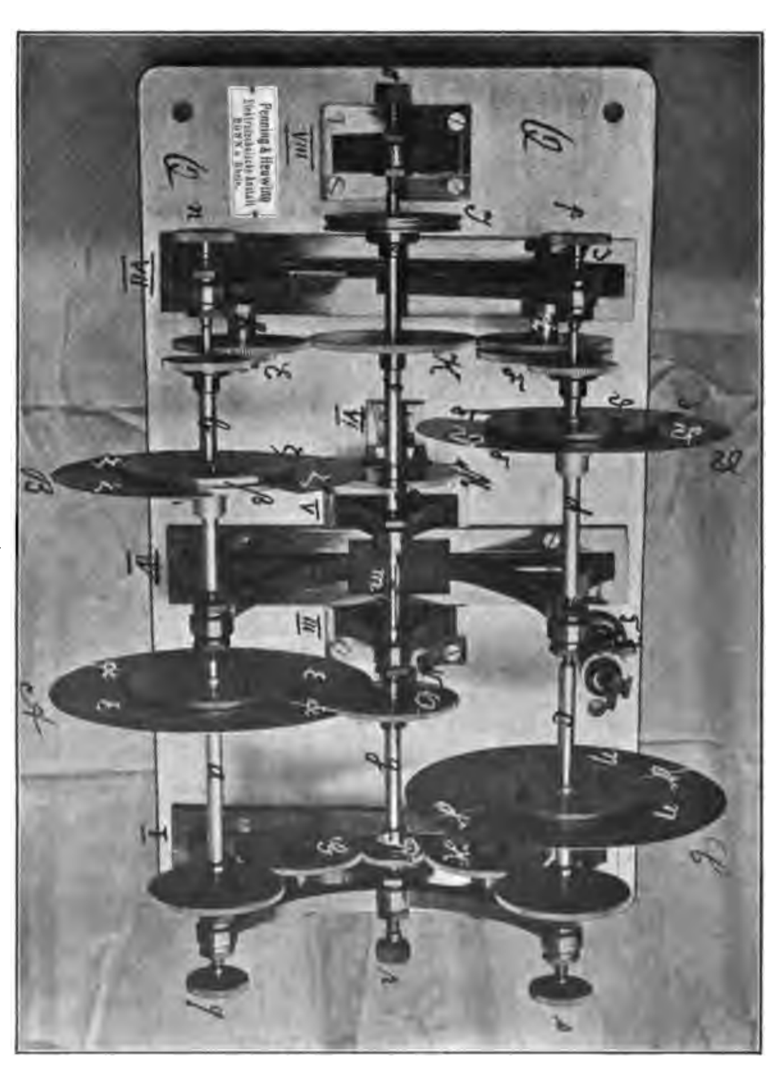


Fig. 7.

128 Umdrehungen, je nach Verwendung auswechselbarer Zwischenräder[1]).

Die Zwischenräder *E* und *F* (siehe besonders Fig. 7) bestehen aus zwei aneinander gelegten Zahnrädern, von denen das eine in das Zahnrad der Achse *b* oder *d* greift, das andere in das Zahnrad *K* einer mittleren Achse *e*. Um das Einsetzen anderer Räder an Stelle von *E* und *F* zu ermöglichen, sitzen die kurzen Achsen *h* und *i* an verschiebbaren Stellschienen, die durch Klemmschrauben festgehalten werden (Fig. 2) Achse *i*, Stellschiene *k*, Klemmschraube *l*.

Die mittlere Achse *e* trägt außer dem Zahnrad *K* das Triebrad *J*, das durch eine Schnur mit dem Elektromotor in Verbindung steht, und am andern Ende das Zahnrad *L*, das in das Rad *M* der Achse *f* greift; das zweite Rad *N* der Achse *f* greift in das Zahnrad *O* der Achse *g*, und deren zweites Rad *P* fasst in die Zwischenräder *G* und *H*, die die Übertragung auf die Räder der Achsen *a* und *c* vermitteln.

Zum Tragen der Achsenlager dienen 8 Stative, die auf einer eisernen Grundplatte *Q* stehen. Und zwar liegen die Achsen *a b c d* zwischen den Stativen I IV VII und die drei Teile der Hauptachse *g f e* zwischen den Stativen I III, II VI, V VIII. Außerdem sind die Stative III und V oben durch eine Stange *m* verbunden, deren Enden konisch vertieft sind. Die äußeren Achsenlager an Stativ I VII VIII befinden sich zum Herausnehmen der Achsen an Schrauben *n o p q r s*, die nach Einstellung beiderseitig durch Schraubenmuttern gesichert werden.

Die Unterbrechungsscheiben *A B C D* sind durch Klemmschrauben an ihren Achsen befestigt. Sie bestehen aus zwei

---

1) Eine Reihe, in der sich die Umdrehungsgeschwindigkeit mit jedem Gliede verdoppelt, ist für die Berechnung der Reizdauer besonders günstig. Daher sind die anderen Übertragungskombinationen nicht erwähnt.

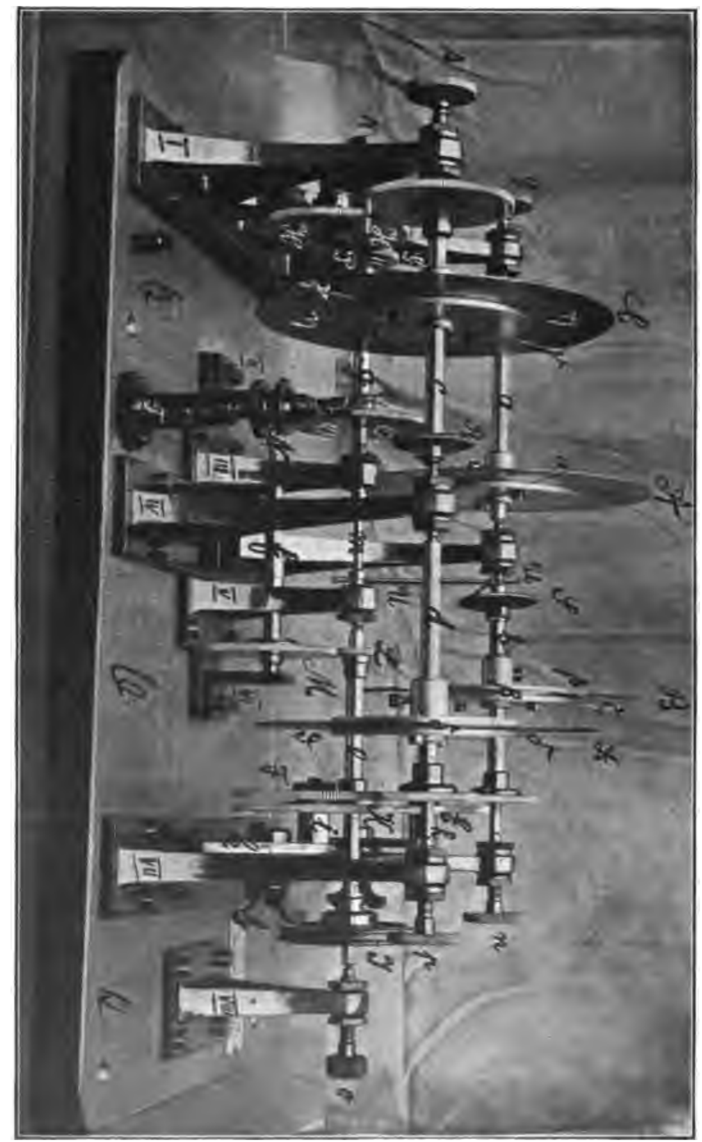


Fig. 8.

kreisförmigen, mit Gradeinteilung versehenen Scheiben, die durch Klemmschrauben aneinander gepresst werden, nachdem über-

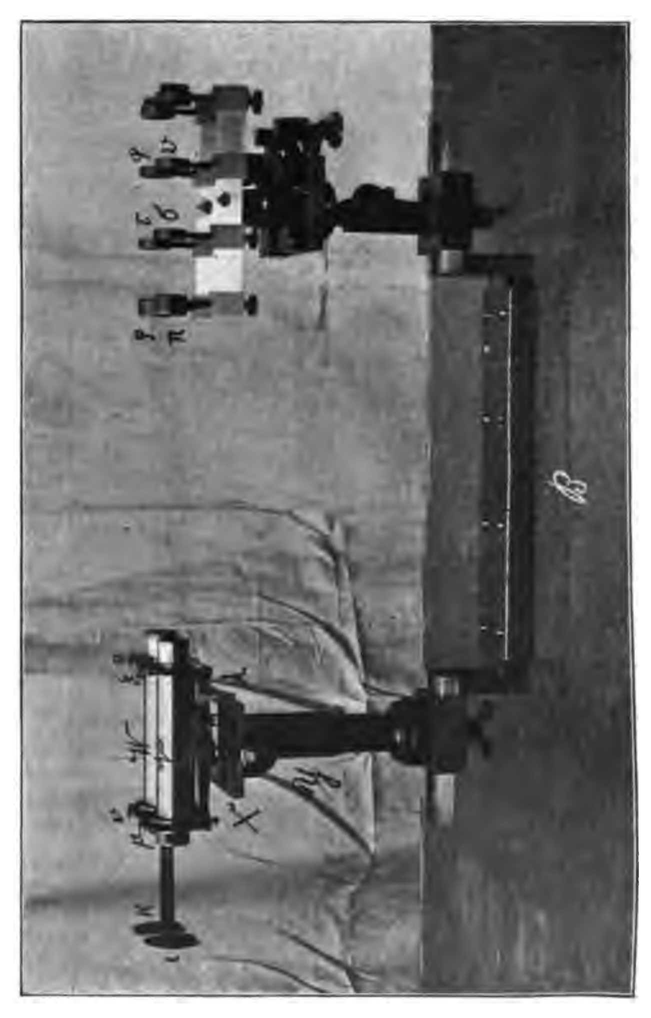


Fig. 9.

stehende Unterbrechungssektoren $\varepsilon\,\zeta\,\eta\,\vartheta$ in geeigneter Weise dazwischen gelegt sind.

An den Achsen *c* und *b* rotieren außerdem Kontaktscheiben

R S (Fig. 8), die an einer Feder der vom Apparat isolierten Stative *T* und *U* vorbeischleifen. Auch diese Scheiben sind durch Klemmschrauben befestigt.

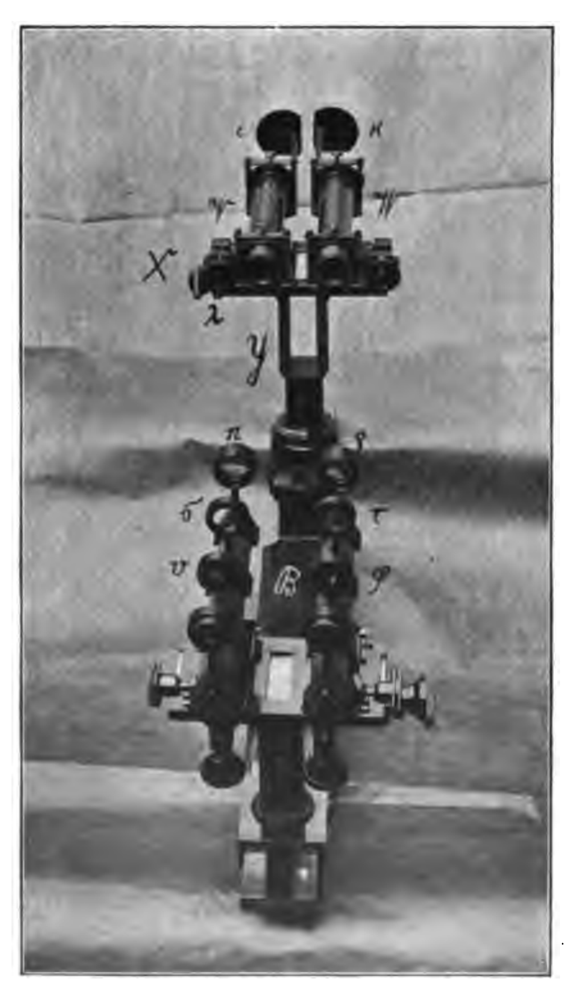


Fig. 10.

Die Fernrohre des optischen Teiles *V W* (Fig. 9 seitliche Ansicht, Fig. 10 gerade Durchsicht), die wie die Helm-

holtzschen zwei Sammellinsen enthalten, liegen zwischen den Unterbrechungssektoren der Scheiben *A B* und *C D* (Fig. 8 Gesammtansicht) und konvergieren etwas nach der Lichtquelle zu. Jenseits der Scheiben *B* und *D* tragen sie eine Blende mit punktueller Öffnung $\iota\,\varkappa$ (Fig. 9, 10). Der seitliche Abstand der Rohre wird durch einen mikrometrischen Schlittenapparat *X* eingestellt, die horizontale und vertikale Drehung des einzelnen Rohres durch eine Kugelgelenkschraube λ oder Feinbewegungsschraube im Lager des Rohres (Bügelschrauben $\mu\,\nu\,\xi\,o$ und entsprechende Schrauben an der unteren Seite des Rohres). Der Schlittenapparat ruht auf einer durchbrochenen Säule *Y* (siehe besonders Fig. 10), die von der Hauptschiene *B* der optischen Einrichtung aufsteigt.

Der zweite Teil der optischen Einrichtung, die korrespondierenden Linsensysteme zur Vergrößerung des Eindruckes im Beobachterkasten *C* (Fig. 5), lässt dieselben Einstellungen zu. Außerdem ist seine Höhe durch Zahnradtrieb regulierbar. Seine äußersten Linsen $\pi\,\varrho$ (Fig. 9, 10) sind von schwarzem Tuch umschlossen, wodurch das Eindringen von Licht in den Beobachterkasten verhindert wird; seine Blenden $\sigma\,\tau\,\upsilon\,\varphi$ schneiden ein gleichmäßiges Gesichtsfeld von der scheinbaren Größe eines Markstückes aus dem Lichtkonus heraus.

Der Kasten *A* (Fig. 5) hat eine Öffnung für die Schnur zum Elektromotor und eine zur Lichtquelle hin, die durch eine matte Scheibe *E* gebildet wird, hinter der Auerlicht brennt. Bei Stativ VII (Fig. 7) wird eine Zwischenwand eingeschoben, die das überflüssige Licht absperrt.

Die elektrische Verbindung der Apparate ist folgende:

1) Leitung für den Elektromotor, unter Einschaltung eines Rheostaten zur Regulierung der Stromstärke.

2) Chronoskopleitung mit Einschluss eines Stromwenders und der Kontaktscheibe des Lichtunterbrechungsapparates.

Für den Betrieb des Unterbrechungsapparates genügt $^1/_6$ Pferdekraft (31 Volt bei 3,8 Ampère), für die Chronoskopleitung 4 Elemente.

Über die Versuchseinstellung.

Da das von der matten Scheibe ausgestrahlte Licht nur dann in das Auge des Beobachters gelangt, wenn zwei hintereinander liegende Scheibenausschnitte in der optischen Achse koincidieren, so muss sich die Einstellung der Scheibenausschnitte nach dem Umdrehungsverhältnis richten; und da der Reiz durch die schnelle Scheibe begrenzt werden soll, muss der langsame Scheibenausschnitt eine solche Weite haben, dass er während des Reizes das ganze Sehfeld frei lässt; doch darf er andererseits nicht so weit sein, dass er einen Reiz zuviel zulässt. Daraus ergiebt sich zugleich für den schnellen Scheibenausschnitt eine Maximalweite, die man nicht überschreiten darf, wenn noch eine exakte Einstellung der langsamen Scheibe möglich sein soll. Außerdem hat man zu berücksichtigen, dass auch dann, wenn die Ausschnitte beinahe koincidieren, sich das Gesichtsfeld ein wenig aufhellt, wodurch die Einstellungsgrenzen für völlig exakte Reize noch etwas modifiziert werden. Die Einzelheiten ergeben sich aus folgender Betrachtung.

Eine Umdrehung der schnellen Scheibe S ist gleichwertig einer Drehung der langsamen Scheibe L um $\frac{360^\circ}{32}$, $\frac{360^\circ}{64}$ oder $\frac{360^\circ}{128}$, je nach der verwendeten Übertragung, also gleich 11,25°, 5,625° oder 2,8125°, Werte, die man als Umdrehungseinheiten U bezeichnen kann. Und 1 Grad von S beträgt für L $\frac{1^\circ}{32}$, $\frac{1^\circ}{64}$ oder $\frac{1^\circ}{128}$ gleich 0,03125°, 0,015625° oder 0,0078125°.

Wenn also ein Ausschnitt A der schnellen Scheibe sichtbar sein soll, muss die langsame Scheibe mindestens einen gleichwertigen Ausschnitt a haben, der gleich A mal 0,03125 (bezw. 0,015625 oder 0,0078125) ist. Dagegen ergiebt sich als Maximum der Ausschnittweite von L für einmalige Sichtbarkeit des schnellen Scheibenausschnittes $2\,U - a$, da a höchstens um $U - a$ Grad beiderseitig erweitert werden kann, ohne notwendig eine Wiederholung des Reizes einzuschließen. Für jede Wiederholung des Reizes bei den weiteren Umdrehungen von S vergrößert sich der Ausschnitt der langsamen Scheibe um U^{o}. Demnach erhält man als Einstellungsgrenzen von L für x-malige Sichtbarkeit des schnellen Scheibenausschnittes:

$$> (x - 1)\, U + a$$
$$< (x + 1)\, U - a.$$

Doch gewährt diese Formel noch keine unbedingte Sicherheit für die richtige Anzahl der Reize. Denn es zeigt sich, dass das Einstellungs-Maximum für eine gewisse Anzahl von Reizen und das Einstellungs-Minimum für die nächst höhere Anzahl von Reizen weit übereinandergreifen. Diese Zone des Übereinandergreifens beträgt $U - 2a$ Grad, da die Formel als Einstellungs-Maximum für x-malige Sichtbarkeit $(x + 1)\, U - a$ Grad angiebt und $x\, U + a$ Grad als Einstellungs-Minimum für $x + 1$-malige Sichtbarkeit. Bedenkt man außerdem, dass die $x + 1$ Reize garnicht einmal vollständig zur Geltung zu kommen brauchen, um schon die beabsichtigte Reizzahl zu überschreiten, so wird die Unsicherheit der Einstellungsgrenzen um so größer. Daher bedarf es eines praktischen Hilfsmittels, um die bestimmte Anzahl der Reize sicher zu erzielen.

Doch zunächst sind die Einstellungsgrenzen noch aus praktischen Rücksichten zu modifizieren. Denn erstens gelingt es nicht,

die Strahlen genau in einen Punkt konvergieren zu lassen, weshalb es nach Eintritt einer Kante in den Lichtkegel noch einer weiteren Drehung der Scheibe bedarf, bis das ganze Sehfeld frei bezw. verdeckt ist. Am vorliegenden Apparat beträgt dieser Durchgangsprozess für die langsame Scheibe 1,5° und beschränkt also Maximum und Minimum der erlaubten Einstellung um diese Größe. Der Durchgangsprozess der schnellen Scheibe 0,3° kann für die Einstellung von *L* unberücksichtigt bleiben.

Zweitens schneidet die langsame Scheibe nicht auch gleich alles Nebenlicht ab. Daher dürfen die nächstliegenden Ausschnitte von *S*, die verdeckt bleiben sollen, nicht zu nah an die Kanten des langsamen Scheibenausschnittes fallen, weil sich sonst ein Aufdämmern im Gesichtsfelde zeigen würde. Diese Zone von *L* beträgt 3° und erfordert eine Einschränkung des Einstellungs-Maximums um den doppelten Betrag. Doch kann diese Korrektion eventuell vernachlässigt werden, zumal bei längeren Reizperioden, da die Erscheinung höchstens vor dem ersten und nach dem letzten Reize auftaucht.

Die völlig exakten Einstellungen liegen also zwischen den Grenzen

$$> (x-1)\,U + a + 1{,}5^\circ$$
$$< (x+1)\,U - a - 7{,}5^\circ,$$

sodass man nunmehr einen Einstellungsspielraum von $2\,(U-a-4{,}5^\circ)$ zur Verfügung hat. Daraus ergiebt sich ein Maximalwert für a, wenn man den Spielraum gleich Null werden lässt, nämlich $a' = U - 4{,}5^\circ$; und dies ist, auf die schnelle Scheibe übertragen, gleich einem maximalen A', über das man bei der Einstellung der schnellen Scheibe nicht hinausgehen darf, wenn man nur völlig exakte Reize erzielen will. Für die Übertragung 32 und 64 ist dieser Wert gleich 216° bezw. 72°; dagegen für die Übertragung 128 existiert ein derartiger Wert nicht, sodass also bei dieser

Kombination ein begleitendes Aufdämmern überhaupt nicht zu vermeiden ist.

Sind mehrere Ausschnitte der schnellen Scheibe vorhanden, so werden sie bei Berechnung der Ausschnittweite von L zusammen mit ihren Intermissionen wie ein großer Ausschnitt angesehen.

Bei Vernachlässigung der Korrektion für Nebenlicht hat man einen Einstellungsspielraum von $2\,(U - a - 1{,}5^\circ)$, woraus sich ein maximales a'' gleich $U - 1{,}5^\circ$ ergiebt und ein maximales A'' mit den Werten 312°, 264°, 168°.

Bei der Einstellung der langsamen Scheibe wird man stets die Maximalweite A' oder A'' zu Grunde legen, da diese Einstellung auch den kleineren Ausschnitten von S genügt. Daher beträgt die Normal-Einstellungsweite von L

$$a' + 1{,}5^\circ = U - 3^\circ \text{ und } a'' + 1{,}5^\circ = U.$$

Der ersten Normalweite entsprechen die Werte 8,25° und 2,625°, der zweiten die Werte 11,25°, 5,625° und 2,8125°. Für x-malige Sichtbarkeit des schnellen Scheibenausschnittes erweitert sich diese Normaleinstellung zu $x\,U - 3^\circ$, bezw. $x\,U$.

Für die Unterbrechungssektoren ergeben sich die korrespondierenden Werte $U + 3^\circ$ für einmalige Intermission, und für y intermittierende Umdrehungen $y\,U + 3^\circ$. bezw. $y\,U$.

Demnach gilt folgende allgemeine Einstellungsformel der langsamen Scheibe für x_1 und x_2 Reize mit y_1-maliger Intermission:

1. Ausschnitt: von 0° bis $x_1\,U - 3^\circ$;

2. Ausschnitt: von $(x_1 + y_1)\,U$ bis $(x_1 + y_1 + x_2)\,U - 3^\circ$

oder:

1. Ausschnitt: von 0° bis $x\,U$

und

2. Ausschnitt: von $(x_1 + y_1)\,U$ bis $(x_1 + y_1 + x_2)\,U$.

Zur raschen Einstellung ist es zweckmäßig, sich die Normalwerte in Tabellen niederzulegen.

1. Einstellungsschema (für völlig exakte Reize).

Umdrehungen von S	Ausschnittweite von L bei Übertragung 32	64
1.	0° — 8,25°	0° — 2,625°
2.	11,25 — 19,5	5,625 — 8,25
3.	22,5 — 30,75	11,25 — 13,875
4.	33,75 — 42	16,875 — 19,5
5.	45 — 53,25	22,5 — 25,125
6.	56,25 — 64,5	28,125 — 30,75
7.	67,5 — 75,75	33,75 — 36,375
8.	78,75 — 87	39,375 — 42
9.	90 — 98,25	45 — 47,625

u. s. w. für alle Quadranten.

2. Einstellungsschema

(Ausschnittweite bei Vernachlässigung des Nebenlichtes).

Umdrehungen von S	Ausschnittweite von L bei Übertragung 32	64	128
1.	11,25°	5,625°	2,8125°
2.	22,5	11,25	5,625
3.	33,75	16,875	8,4375
4.	45	22,5	11,25
5.	56,25	28,125	14,0625
6.	67,5	33,75	16,875
7.	78,75	39,375	19,6875
8.	90	45	22,5
9.	101,25	50,625	25,3125

u. s. w. für alle Quadranten.

Will man z. B. 3 aufeinander folgende Reize und nach einer Intermission von 2 Umdrehungen 4 aufeinander folgende Reize erzielen, so muss man an der langsamen Scheibe nach Schema 1 bei der Übertragung 32 von 0 Grad ausgehend den zweiten Rand des ersten Ausschnittes auf 30,75° einstellen, den ersten Rand des zweiten Ausschnittes auf 56,25° und den zweiten Rand auf 98,25°. Für die Übertragung 64 ergeben sich die entsprechenden Werte: 0° bis 13,875° und 28,125° bis 47,625°. Bei Überschreitung von *A'* an der schnellen Scheibe hat man nach Schema 2 einzustellen. Dann ergiebt sich für unser Beispiel bei der Übertragung 32 die Einstellung 0° bis 33,75° und 56,25° bis 101,25°.

Bei diesen Einstellungen läuft man nicht mehr Gefahr, einen Reiz zuviel zu bekommen, wenn man nur darauf achtet, dass der gewünschte Reiz auch ganz in den Ausschnitt hineinfällt. Das lässt sich durch eine Marke bewirken, die man neben der Unterbrechungsscheibe *L* aufstellt, genau in der Höhe, wo der erste Rand des Ausschnittes liegen muss, damit das Sehfeld eben frei ist. Ist ein Ausschnitt darnach kontrolliert, während der Anfang des schnellen Scheibenausschnittes gerade den Lichtstrahl hindurchlässt, so stehen auch die übrigen Ausschnitte von *L* richtig.

Zur bequemen Berechnung der Reizdauer versieht man die schnelle Kontaktscheibe mit einer leitenden Fläche von 100°, sodass man die vom Chronoskop abgelesene Zeit nur durch 100 zu dividieren braucht, um die Reizdauer für 1 Grad von *S* zu erhalten. Da jedoch diese Kontaktscheibe nur bei sehr langsamer Drehung von *S* sicher funktioniert, verwendet man bei schneller Rotation eine langsame Kontaktscheibe, der man am besten eine leitende Fläche von 156,25° giebt; denn dann beträgt die Reizdauer für 1 Grad von S_2 (Übertragung 64) 1 Zehntausendstel der abgelesenen Zeit.

Zur raschen Einstellung der Ausschnitte von *S* wird man sich folgende Tabelle für die Reizdauer von 1 Grad anlegen.

Chronoskopzeit in Sigma	Reizdauer für 1 Grad von *S* bei Übertragung 32	64	128
1000	0^s,0002	0^s,0001	0^s,00005
1050	0^s,00021	0^s,000105	0^s,0000525
1100	22	11	550
1150	23	115	575
.	.	.	.
.	.	.	.
	.	.	.
.		.	.
2000	0^s,0004	0^s,0002	0^s,0001

Innerhalb der Zeit von 1000 bis 2000 σ funktionierte der Apparat sicher; der Gang blieb regelmäßig, sodass alle Einstellungen möglich waren. Für den Durchgangsprozess der schnellen Scheibe bestand nur ein Fehler von 0^s,000015 bis 0^s,00012 für den ganzen Ausschnitt.

Maße des Apparates.

Unterbrechungsmechanismus. Die Grundplatte des Unterbrechungsapparates, 56×33×1,25 cm, mit verdicktem unteren Rand und niedrigen Füßen, besteht aus Eisen und hat in der Mitte einen Ausschnitt von 10×6 cm.

Die Träger der Achsenlager, aus Messing, mit Fußplatten (bei Stativ I, IV (mit einem Ausschnitt) und VII: 30,25×5,1×0,75 cm; bei III und V: 9,5×4 cm mit Zipfel von 3,8×4,1 cm; bei VIII: 9,5×5,9 cm) sind mit Ausnahme der winkelförmigen Träger II und VI in schienenartiger Konstruktion gegossen, die sich nach oben zu verjüngt. Die hohen Stative verjüngen sich von 1,75 cm bis zu 0,9 cm, die niedrigeren nur bis 1,2 cm. Die

Schienenbreite ist mindestens 1,15 cm, ihre Tiefe 1,5 mm. Die Köpfe, durch die die Achsenlager geschraubt sind, haben einen Durchmesser von 2,5 bezw. 2,3 cm und eine Dicke von 1,8 bezw. 1,6 cm entsprechend der Höhe der Stative.

Die drehbaren Achsen aus Stahl sind durchschnittlich 1 cm dick und an den Enden konisch zugespitzt. Sie liegen in einer Höhe von 15,7 bezw. 9,2 oder 4,1 cm. Der Abstand der seitlichen Achsen beträgt von einander 20,75 cm und von der Hauptachse 12,3 cm. Der Abstand der kurzen Achsen bezw. der Stellschienenklemmen ist von den Seitenachsen 8 bezw. 8,5 cm, von der Hauptachse 6 bezw. 10 cm.

Die Stellschiene ist 5 mm dick und hat einen Schlitz von 5,4×0,9 cm. Am Ende sitzt ein Zapfen, der das Doppelrad in einem Abstand von 1,55 cm von der Schiene trägt.

Die Zahnräder, aus Messing, sind 4,5 mm dick; nur das Doppelrad hat eine Dicke von 10,8 mm. Abgesehen von den Zwischenrädern, die an unbeweglichen Achsen rotieren, sitzen die Zahnräder fest an ihren Achsen. Die Anzahl der Zähne wird durch folgendes Übertragungsschema veranschaulicht:

Übertragung von der Hauptachse *e* auf die langsame Scheibe:

$$\frac{35}{140} \cdot \frac{35}{140} \cdot \frac{70}{140} \cdot \frac{140}{140} = \frac{1}{32}$$

und Übertragung von *e* auf die schnelle Scheibe:

$$\frac{180}{140} \cdot \frac{140}{90} = 2$$

oder bei einem anderen Zwischenrad:

$$\frac{180}{140} \cdot \frac{70}{90} = 1$$

respektive

$$\frac{180}{70} \cdot \frac{140}{90} = 4.$$

Der Abstand der Zähne ergiebt sich aus dem Durchmesser der Räder. Ein 180-zähniges Rad hat einen Durchmesser von 10,2 cm, ein 35-zähniges Rad einen solchen von 2,1 cm.

Das Triebrad an der Achse *e* hat einen Durchmesser von 8 cm, eine 0,25 cm tiefe Nute und ist 0,9 cm dick.

Die Klemmscheiben der Unterbrechungsräder haben einen Durchmesser von ca. 10 cm. Die Unterbrechungssektoren aus Aluminium stehen um ca. 4 cm über.

Die Kontaktscheiben sind 3 mm dick und haben einen Durchmesser von 6 cm. Die leitende Substanz ist Messing, die nichtleitende Kautschuk.

Der umhüllende Kasten des Rotationsapparates misst in Länge, Breite, Höhe 60×50×33 cm, auf einem Bocke von 105 cm Höhe, dessen Beine 5×5 cm und dessen verbindende Leisten 7,5×3 cm stark sind.

Optische Einrichtung. Der Bock der optischen Einrichtung ist mindestens ebenso fest gebaut, wie der des Unterbrechungsapparates, mit Eisenklammern von 1×5 cm Dicke und einer reichlich 4 cm dicken Platte. Die darauf befestigte Hauptschiene ist 55 cm lang, bei einer Dicke von 6,45×2,25 cm, resp. an den Enden 4,7×1,3 cm.

Die Säule des ersten Teiles ist 3 bezw. 4 oder 4,4 cm dick, hat einen 8,5 cm tiefen, 2 cm breiten Längsschlitz (für die Achse *f*) und einen 1,4 cm tiefen, 1,25 cm breiten Querschlitz (für die Mikrometerschraube des Schlittenapparates). Die auf der Säule ruhende Schiene der Schlitten hat eine Fläche von 7,1×13,1 cm mit zwei Ausschnitten von 1,2×3,8 cm für die Schlittenfüße, durch die unterhalb der Platte die Mikrometerschraube mit Rechts- und Linksgewinde geht.

Die Linsen der optischen Einrichtung haben 8 cm Brennweite; nur die beiden Okulare besitzen eine kleinere Brennweite von 4 cm.

Der Beobachterkasten hat die Dimensionen 72×72×193 cm, der Tucheinsatz 20×20×14 cm. Die matte Scheibe, 20×20 cm, ist vom Apparat 45 cm entfernt, und die Lichtquelle befindet sich 10 cm hinter ihr.

---

4. Einiges über die Dauer der positiven Nachbilder und deren Intermittenszeit.

Wir sahen in der Kritik der Exnerschen Abhandlung über die Dauer der Lichtempfindung, dass hier die positiven Nachbilder, wie dies bis in die neueste Zeit hinein die Regel war, einerseits als für die Wahrnehmung der Dinge wichtig, als ein über die Dauer der Reize hinaus anhaltendes Bild der Dinge, andererseits als abfallender Zweig der einfachen schematischen Erregungskurve aufgefasst wurden. Dass diese Auffassung nicht richtig sein kann, ist jetzt durch zahlreiche Beobachtungen verschiedener Art bewiesen worden. Ohne dass die Frage nach der Dauer der Empfindung befriedigend gelöst wäre, hat sich gezeigt, dass jedenfalls das bis dahin sogenannte Abklingen der Empfindung nichts anderes ist, als das positive Nachbild selbst, welches deshalb nicht als unmittelbare Fortsetzung der Erregung gelten kann, weil es zeitlich von dem Erregungsvorgang der Empfindung ganz und gar getrennt ist. Diese für die ganze Lichtwahrnehmungslehre bedeutsame Thatsache wurde zuerst im Jahre 1891 von Hess bei Gelegenheit von Untersuchungen aufgedeckt, die er, von Hering angeregt, über die positiven Nachbilder nach kurz dauernden Reizen angestellt hatte (vergl. Hess, Untersuchungen über die nach kurz dauernder Reizung des Sehorgans auftretenden Nachbilder. Pflügers Arch. 1891 Bd. 49). Die Reizzeit betrug etwa $^1/_{100}$ sec. Nach

Auffassung des Lichtbildes, das nach Hess in unmessbar kurzer Zeit abklingt, trat eine deutliche Intermission des Eindruckes, also völliges Dunkel, ein, etwa $^1/_2$ bis $^1/_3$ sec. lang. Erst dann tritt das positive Nachbild auf, dessen Dauer Hess auf 3 bis 6 sec. angiebt. Bei farbigen Lichtern sind die Erscheinungen etwas verwickelter, wovon zunächst abgesehen werden kann. Die Richtigkeit dieser Angabe ist dann u. A. von Bosscha, v. Kries und Hamaker bestätigt worden (vgl. Ebbinghaus, Zeitschr. f. Ps. Bd. 21, S. 1 ff.).

Bei den S. 295 erwähnten Versuchen, welche zu einem negativen Ergebnis führten, erschien es mir nötig, um eine mögliche Fehlerquelle zu vermeiden, den Beobachter möglichst von jedem andern Lichte als dem zu beobachtenden abzusperren. Zu diesem Zweck wurde die S. 302 beschriebene, auch später beibehaltene Einrichtung getroffen. Der Beobachter saß in dem Dunkelkasten, und die Bahn des Lichtes war gegen die Umgebung völlig abgeblendet. Der Beobachter erhielt also Lichtreize von bestimmter Dauer, welche durch Änderung des Ausschnittes der rotierenden Scheibe im Verein mit der Messung der Rotationszeit genau abgestuft und berechnet werden konnten. Es fiel bei diesen Versuchen sofort auf, dass nach Aufhören des Reizes, während der Beobachter sich wieder im völligen Dunkel befand, das positive Nachbild des gesehenen Eindruckes in Gestalt einer vollen, runden, an Intensität geschwächten Scheibe, dem Beobachter vor Augen schwebte, wieder verschwand und zuweilen wiederkehrte. Diese Erscheinung war unter den gegebenen Umständen so bequem zu beobachten, dass es unerlässlich schien, sie in ihrem Verlauf genauer festzustellen. Die bisherigen Angaben über die Zeitverhältnisse der positiven Nachbilder, sowohl was die überall vorhandene Intermittenzzeit zwischen dem Auftreten des Nachbildes und dem Aufhören des Reizes, als auch die Dauer der Nachbilder selbst betrifft, sind ungenau. Besonders

wichtig schien es auch zu untersuchen, ob nicht bei längerer Reizdauer dieselben Erscheinungen zu beobachten sind, wie bei der bisher vorwiegend untersuchten kurzen, und in welcher Abhängigkeit sich die Zeiten von der Dauer des Reizes befinden.

Zu dem Zweck wurde ein Reaktionstaster auf der Tischplatte im Dunkelkasten angebracht, und ein Baltzarsches Kymographion auf einem benachbarten Tische aufgestellt. Mit Hilfe einiger Elemente und geeigneter Verbindung derselben mit dem Taster und einem elektromagnetischen Schreiber des Baltzar konnte der Beobachter die Dauer der positiven Nachbilder registrieren. Er hatte die Aufgabe, während die helle Scheibe des Nachbildes ihm vorschwebte, den Taster herunterzudrücken und beim Verschwinden des Bildes loszulassen. Der Augenblick des Reizeintrittes und des Aufhörens des Reizes wurde gleichfalls durch eine einfache Auslösungseinrichtung an dem Exnerschen Unterbrechungsapparat auf die gleiche Linie der Baltzarschen Trommel aufgeschrieben und zwar durch den gleichen Schreiber. Es kam nie vor, dass etwa die Nachbildreaktion eher eingetreten wäre, bevor der Schreiber das Aufhören des Reizes markiert hatte. Die Intermittenzzeit ist im Gegenteil stets eine recht beträchtliche.

Die gefundenen Zeiten enthalten demnach den Fehler der Reaktionszeit. Die Ungenauigkeit der Zeiten ist aber auch aus anderen Gründen als noch beträchtlich größer anzusehen. Es ist nicht ganz leicht für den Beobachter, Sicherheit darüber zu erlangen, wann er mit der Reaktion zu beginnen, und noch weniger, wann er damit aufzuhören hat. Weder das Auftauchen des Nachbildes, noch das Verschwinden ist ein momentanes. Das Nachbild bildet sich, es tritt sozusagen erst zusammen, und es zerfließt dann wieder, nachdem es eine Zeit lang ruhig und unverändert bestanden hat. Besonders das Zerfließen ist kein

ganz schnelles, es ist eine mehr allmähliche Auflösung, deren Ende wegen des Eigenlichtes der Netzhaut schwer zu finden ist. Die Versuche, das ganze Nachbild aufzuschreiben vom ersten Entstehen bis zum letzten Vergehen, stellten sich daher als undurchführbar heraus; die Zeiten wurden sehr verschieden, und der Beobachter kam aus der Unsicherheit nicht heraus. Es konnte geschehen, dass der Augenblick des völligen Verschwindens ganz verpasst wurde; die Zeiten wurden in unbestimmbarer Weise viel zu lang. Es wurde daher bald die Vorschrift gegeben, nur auf das volle, unversehrte Nachbild zu reagieren, oder nur so lange, als das Nachbild wirklich klar und gut erkennbar vor Augen stand. Erst dadurch wurde die hinreichende subjektive Sicherheit des Beobachtens ermöglicht. Die nach der ersten, unbestimmteren Beobachtungsmethode gefundenen Zahlen sind fortgelassen. Beobachter waren außer dem Verfasser H. Deetjen (*D*) und H. Dr. Rostosky (*R*).

In den folgenden Tabellen bedeutet die erste größere Reihe (*T*) die Zeit der Reizdauer, die zweite (*J*) die Intermissionsdauer oder die Zeit zwischen dem Aufhören des Lichtreizes und dem Anfang des registrierten positiven Nachbildes, die dritte (*N*) die Dauer des Nachbildes selbst. Unter *n* ist die Anzahl der zur Berechnung gekommenen Versuche und neben den beiden Hauptreihen die mittlere Variation (*m V*) verzeichnet.

Tabelle VI. Reagent D.

n	T	J	mV	N	mV
11	0,0012 sec.	0,981	0,163	0,196	0,061
10	0,0036 „	0,507	0,131	2,526	0,22
46	0,013 „	0,75	0,145	3,788	0,443
17	0,115 „	1,29	0,229	5,76	0,919
19	0,122 „	1,167	0,177	3,479	0,576
10	1,0 „	0,928	0,116	4,654	1,331

Tabelle VI. Reagent D. (Fortsetzung.)

n	T	J	mV	N	mV
8	2,0 sec.	5,698	1,155	7,508	1,292
6	3,0 „	3,403	1,398	9,009	2,216
2	5,0 „	4,235	0,308	7,816	1,753
1	7,0 „	3,157	—	6,853	—
1	10,0 „	2,541	—	3,234	—

Tabelle VII. Reagent M.

n	T	J	mV	N	mV
23	0,004 sec.	1,285	0,165	1,865	0,214
60	0,007 „	1,216	0,15	1,944	0,278
18	0,013 „	0,958	0,101	2,417	0,307
27	0,112 „	2,265	0,19	4,307	0,451
17	0,125 „	2,377	0,195	5,323	0,546
10	1,0 „	1,077	0,12	3,522	0,45
10	2,0 „	1,586	0,58	3,664	1,11
5	3,0 „	2,992	0,26	5,872	1,86
2	5,0 „	4,8	0,4	7,4	0,23
1	7,0 „	4,4	—	6,96	—
1	10,0 „	4,4	—	8,88	—
1	15,0 „	4,08	—	7,68	—
1	20,0 „	3,6	—	6,24	—

Tabelle VIII. Reagent R.

n	T	J	mV	N	mV
12	0,004 sec.	1,11	0,127	0,786	0,247
12	0,007 „	1,187	0,186	0,764	0,237
29	0,010 „	0,961	0,187	1,794	0,309
46	0,013 „	0,803	0,148	2,071	0,294
33	0,122 „	0,838	0,109	2,46	0,417
11	0,500 „	2,179	0,9	5,556	1,03
4	10 „	4,246	1.625	5,234	1,2

Zur Vergleichung der Zahlen der verschiedenen Versuchspersonen fasst die folgende Tabelle IX die Zahlen der Tabellen VI, VII und VIII noch einmal übersichtlich zusammen.

Tabelle IX.

T	J			N		
	D	M	R	D	M	R
0,0012 sec.	0,981	—	—	0,196	—	—
0,0036 „	0,507	—	—	2,526	—	—
0,004 „	—	1,285	1,11	—	1,565	0,786
0,007 „	—	1,216	1,187	—	1,944	0,764
0,010 „	—	—	0,961	—	—	1,794
0,013 „	0,75	0,958	0,803	3,788	2,417	2,071
0,0132 „	0,835	—	—	3,376	—	—
0,112 „	—	2,265	—	—	4,307	—
0,115 „	1,29	—	—	5,76	—	—
0,122 „	1,167	—	0,838	3,479	—	2,46
0,125 „	—	2,377	—	—	5,323	—
0,500 „	—	—	2,679	—	—	5,556
1,0 „	0,928	1,077	—	4,654	3,522	—
2,0 „	5,698	1,586	—	7,508	3,664	—
3,0 „	3,403	2,992	—	9,009	5,872	—
5,0 „	4,235	4,8	—	7,816	7,4	—
7,0 „	3,157	4,4	—	6,853	6,96	—
10,0 „	2,541	4,4	4,246	3,234	8,88	5,234
15,0 „	—	4,08	—	—	7,68	—
20,0 „	—	3,6	—	—	6,24	—

Von den Beobachtern besaß der erste (*D*) die größte Empfindlichkeit, was sich auch von Anfang an gezeigt hatte, die geringste der dritte (*R*), dort sind die Zahlen am größten, hier am kleinsten. Herr Dr. Rostosky hatte im Anfang geleugnet, ein positives Nachbild beobachten zu können, jedenfalls habe er bis dahin keines gesehen. Bei den allerkleinsten Zeiten schien es ihm denn auch unmöglich, eine Reaktion, wie die verlangte, auszuführen. Umso besser gelangen gerade diesem Beobachter

die Reaktionen bei längeren Reizen, die ihn nicht in gleichem Maße, wie es bei anderen Beobachtern der Fall war, anzustrengen schienen. Es konnten daher mit ihm noch einige Versuche mit stärkerem Lichte gemacht werden. Die Mattscheibe an dem Auerlicht wurde entfernt; der Reiz bestand in dem längere Zeit fixierten, direkten Auerlicht. Dabei stellte sich die ja auch sonst nicht unbekannte Erscheinung sofort deutlicher heraus, dass die positiven Nachbilder nach einer neuen Intermission noch einmal oder noch öfter wiederkehren können (wie die früher sogenannten Blendungsbilder). Bei den bisher benutzten weniger starken Eindrücken war das wiederkehrende Nachbild auch bei längerer Reizung zu unbestimmt gewesen, um es mit Erfolg zeitlich genau aufzuschreiben. Es liegen nur wenige Versuche vor. Ich teile die zwei längsten Reihen von je 5 Nachbildern mit. Bei der ersten betrug die Reizdauer 0,117 sec., bei der zweiten 1,0 sec.

Tabelle X.

Reizdauer		N	J
0,117 sec.	1.	7,426	—
	2.	13,983	1,896
	3.	13,588	5,609
	4.	3,397	3,792
	5.	2,212	12,087
1,0 sec.	1.	7,505	8,058
	2.	12,403	0,553
	3.	6,162	2,907
	4.	2,844	10,112
	5.	0,869	8,453

Darnach scheinen die wiederkehrenden positiven Nachbilder, wie sie an Deutlichkeit verlieren, so immer kürzer zu werden, während die Zwischenpausen sich im allgemeinen verlängern.

Soweit die Nachbilderversuche. Aus Tabelle IX und X geht hervor, dass in weiten Grenzen sowohl die Dauer der positiven Nachbilder, wie die zwischen ihrem Eintreten und dem Aufhören des Reizes verstreichende Zeit mit der Reizdauer zunimmt. Dauern die Reize über mehrere Sekunden an, so tritt wieder eine Verkürzung, sowohl der Nachbilder selbst, wie dieser Zwischenzeit ein. Bei stärkeren und längeren Reizen wiederholen sich die Nachbilder mehrmals, indem zugleich ihre Dauer abnimmt, während die Pausen zunehmen. Was zuerst von den positiven Nachbildern nach kurzer Reizung der Netzhaut festgestellt ist, dass das positive Nachbild von dem Ende des Reizes zeitlich durch eine Pause getrennt ist, gilt allgemein für alle Reize: Das sind die Sätze, die aus den gefundenen Zahlen folgen.

---

5. Die Maximalzeiten der Lichtreize verschiedener Intensität und der zeitliche Verlauf der Lichterregungen.

Die erste Aufgabe, welche mit dem neuen Apparat zu lösen unternommen wurde, war die Feststellung der Zeit, in welcher eine Helligkeit ihr Maximum erreicht, sowie des Verlaufes der zu dem Maximum führenden Erregungskurve. Zu dem Zwecke blieb der Eindruck auf der einen (linken) Seite zunächst konstant. Das Licht ging ungehindert durch. Die Zeit des zweiten Eindruckes für das rechte Auge, wurde im Anschluss an die Methode minimaler Änderungen so verändert, dass von einer Lichtstärke, welche als sicher dunkler beurteilt wurde, allmählich zu einer solchen übergegangen wurde, die dem Beobachter

sicher gleich erschien. Die Untersuchung hat hier also nur den Gleichheitspunkt zu suchen; über diesen hinauszugehen, hätte dem Zwecke der Untersuchung widersprochen. Der Ausdruck Maximalzeiten, der auch sonst schon angewendet ist, kann leicht irre führen. Es sind im Grunde Minimalzeiten, um die es sich handelt; sie geben das Minimum von Zeit an, welches nötig ist, um die Maximalhelligkeit zu erzielen, deren ein gegebener Reiz von bestimmter Stärke unter gegebenen Umständen (gleichem Adaptationszustande u. s. w.) überhaupt fähig ist. Sinkt die Zeit unter diese Maximalzeit, so wird der erzeugte Lichteindruck dunkler, steigt die Zeit, so wird er nicht mehr heller, sondern bleibt in seiner Qualität konstant.

Die Abstufung der sechs untersuchten Intensitäten wurde mit Hilfe eines doppelbrechenden Kalkspatprismas vorgenommen. Das eine der beiden zuerst ganz gleichen runden Sehfelder wurde durch ein vor das Fernrohr gehaltenes derartiges Prisma in zwei sich schneidende Kreise geteilt, wobei die nicht sich deckenden Teile also die halbe Intensität des gedeckten Teiles und des zweiten Bildes erhielten. Dann wurde der Eindruck des zweiten Feldes dieser geteilten Intensität gleich gestimmt. Es dienten dazu teils matte, teils graue Gläser, welche zwischen die Lichtquelle und den Spalt auf dem dazu eingerichteten Brett (vgl. S. 309) befestigt wurden. Sie wurden aus einer vorhandenen größeren Kollektion solcher Gläser so ausgewählt, dass der dadurch gewonnene Eindruck möglichst auch seinem ganzen Aussehen nach dem Vergleichseindruck gleich wurde. Die so erhaltene Intensität

$$J_2 = \frac{J_1}{2}$$

wurde dann wieder durch das Prisma halbiert und so fortgefahren, bis eine Folge von sechs Intensitäten gewonnen war, von welchen je die folgende die Hälfte der vorhergehenden

betrug. Bei J_6 war der Eindruck so lichtschwach geworden, dass eine weitere Halbierung nicht mehr möglich war. Die benutzten Lichtstärken sind mithin durchweg geringer als die gewöhnlichen Tageshelligkeiten, selbst bei bewölktem Himmel, anzusehen. Denn das freie Auerlicht wurde nicht nur durch die Mattscheibe (*E* in Fig. 5) gedämpft, sondern auch noch durch die Spalteinrichtung erheblich herabgesetzt. Immerhin mochte die Intensität J_1 nicht viel unter der einer gewöhnlichen Lampenbeleuchtung liegen.

Diese selben Intensitätsstufen dienten zu gleicher Zeit dazu, den Verlauf der Lichterregung genau zu bestimmen. Sollte dies beispielsweise für J_1 geschehen, so brauchte man nur auf der einen Seite J_1 konstant zu lassen und auf der anderen Seite nacheinander J_2 bis J_6 als Vergleichseindruck herzustellen. Dann konnte die Dauer der Einwirkung von J_1 so variirt werden, dass in 5 aufeinander folgenden Versuchsreihen die Zeit festgestellt wurde, welche nötig ist, damit J_1 einmal J_2, sodann J_3 und so fort bis J_6 gleich erscheint. Auf diese Weise erhielt man die Erregungskurve von J_1 in ihrem ganzen Verlaufe. Dasselbe Verfahren ist dann auch für J_2 und die folgenden Intensitäten anwendbar. Für alle diese und die folgenden Versuche ist zu bemerken, dass ihre Ausführung ohne die geringste Schwierigkeit von statten geht. Der Vergleichseindruck wird dabei überhaupt nicht unterbrochen. Er steht also fortwährend zum Vergleichen zur Verfügung. Die zu untersuchende Helligkeit kehrt in langsamen, durch die Schnelligkeit des hinteren Rades bedingten Zeitabschnitten wieder. Der Beobachter kann beliebig beide Augen zum Vergleichen benutzen, indem er abwechselnd das linke oder rechte Auge schließt, oder er kann mit demselben Auge von dem einen Fernrohr zum andern sich wenden. Er kann beliebig den zu untersuchenden Eindruck mehrere Male hintereinander auffassen, um dann zum Vergleichs-

eindruck überzugehen oder auch jedesmal nach einmaliger Beobachtung die Vergleichung vornehmen. Er kann, wenn sich die positiven Nachbilder unangenehm bemerkbar machen, das Auge zeitweilig schließen, um es auszuruhen. Er kann sich vollauf Zeit lassen, ehe er das Urteil abgiebt. Vorschriften wurden dem Beobachter über die Art der Ausführung der Beobachtung nicht gegeben. Es stellte sich aber sehr bald ein gleichartiges Verfahren heraus, und zwar wurde in der Regel nur ein Auge benutzt.

Für die Maximalzeiten (*Mx*) liegen von zwei Beobachtern Versuche vor, dem Verfasser (*M*) und Herrn Deetjen (*D*) (jetzt Dr. med. und prakt. Arzt in München).

Tabelle XI.

J	M		D	
	Mx	*d*	*Mx*	*d*
J_1	0,013 sec.		0,012 sec.	
		26		24
$\frac{J_1}{2} = J_2$	0,039 „		0,036 „	
		14		19
$\frac{J_1}{4} = J_3$	0,053 „		0,055 „	
		13		13
$\frac{J_1}{8} = J_4$	0,066 „		0,068 „	
		12		11
$\frac{J_1}{16} = J_5$	0,078 „		0,079 „	
		15		10
$\frac{J_1}{32} = J_6$	0,093 „		0,089 „	

Die Ergebnisse stimmen für die beiden Beobachter recht genau überein. Die Zeiten wachsen mit Abnehmen der Intensität, nehmen mit steigender Intensität ab. Bildet man die Differenzen der Zeiten (*d*), so erkennt man, dass diese sich mit abnehmender Lichtstärke verkleinern, dass also die Zunahme der Zeiten bei abnehmender Lichtstärke nicht diesen proportional, sondern langsamer ist. Sinkt die Lichtstärke auf $^1/_4$, so wächst

die Zeit ungefähr auf das vierfache, sinkt sie auf $^1/_8$, so wächst die Zeit ungefähr auf das fünffache, sinkt sie auf $^1/_{32}$, so wächst die Zeit ungefähr auf das siebenfache.

In der folgenden Kurve (Fig. 11) bedeuten die Ordinaten die Maximalzeiten, während die Abscissen die Intensitäten wiedergeben. Die Entfernung von J_6 vom Nullpunkte ist willkürlich gewählt.

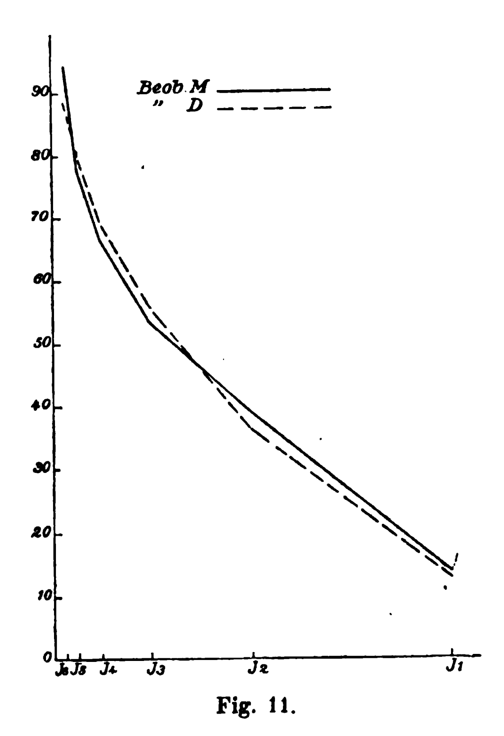


Fig. 11.

Die geringen Intensitäten nehmen für die ihnen überhaupt mögliche Wirkung absolut eine ungleich längere Zeit in Anspruch, als die höheren Intensitäten, aber nicht proportional der Abnahme der Intensitäten.

Macht man von dem gegebenen Material aus einen Schluss auf die höheren Intensitäten, so ergiebt sich, dass diese ihr Maximum sehr schnell erreichen werden. Die Kurven nähern sich sehr schnell der Abscissenachse. Die um die Hälfte vermehrte Intensität von J_1 würde vermutlich schon in ganz kurzer Zeit die höchste Wirkung erzielen. Die im täglichen Leben wirklich vorkommenden Helligkeiten haben also keineswegs eine lange Zeit des Anklingens nötig. Sie wirken fast unmittelbar. Eine experimentelle Bestätigung dieses Schlusses wird

durch eine entsprechende Erweiterung unserer Versuchsanordnung zu erzielen sein[1]).

Zu dem gleichen wichtigen Schluss gelangen wir auch, wenn wir nunmehr die Ergebnisse der Untersuchung der Erregungskurven für die verschiedenen Intensitäten uns vor Augen führen. Auch hier stehen die Zahlen für dieselben zwei Beobachter (*M* und *D*) zu Gebote.

Tabelle XII. J_1 ($Mx = 0{,}012$).

J	M	D
$= J_2$	nach 0,0048 sec.	nach 0,004 sec.
$= J_3$	„ 0,0012 „	„ 0,0015 „
$= J_4$	„ 0,00043 „	„ 0,00035 „

Für J_5 und J_6 waren keine Werte zu erhalten, da selbst bei der geringsten Öffnung der Reizscheibe von 1° der erhaltene Eindruck heller war als der der Vergleichung.

Tabelle XIII. J_2.

J	M	D
$= J_3$	nach 0,009 sec.	nach 0,010 sec.
$= J_4$	„ 0,003175 „	„ 0,003 „
$= J_5$	„ 0,0015 „	„ 0,001 „
$= J_6$	„ 0,0005 „	—

Tabelle XIV. J_3.

J	M	D
$= J_4$	nach 0,0195 sec.	nach 0,010 sec.
$= J_5$	„ 0,0055 „	„ 0,005 „
$= J_6$	„ 0,001 „	„ 0,0015 „

1) Für eine noch stärkere Intensität als J_1 konnte unter Benutzung der oben S. 298/9 von mir angegebenen Anordnung Herr K. Minnemann jetzt die $Mx = 0{,}004$ feststellen.

Tabelle XV. J_4.

J	M	D
= J_5	nach 0,0250 sec.	nach 0,013 sec.
= J_6	„ 0.007 „	„ 0,004 „

Für J_5 im Vergleich mit J_6 war kein genauer Wert zu erhalten.

Auch hier stimmen die gefundenen Werte für die beiden Versuchspersonen gut überein. Die folgenden Kurven (Fig. 12) geben über den wirklichen zeitlichen Verlauf am schnellsten einen Überblick. Es sind zwei Eigenschaften des Erregungsverlaufes, welche deutlich aus dem Bilde der Fig. 12 hervortreten. Einmal ist der Verlauf der einzelnen Kurven kein geradliniger, wie es der Fall sein müsste, wenn die Lichtwirkung der Zeit proportional verliefe. Es müsste dann beispielsweise

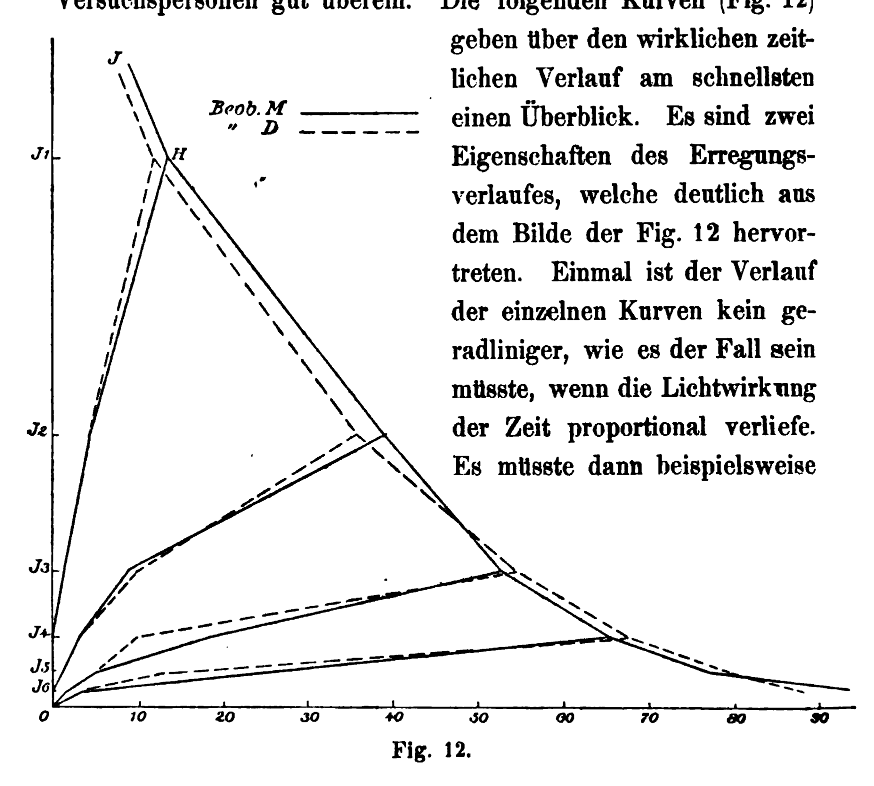


Fig. 12.

für J_2 (*D*) die Helligkeit J_3 in 18 σ erreicht sein, während der gefundene Wert bei 0,010 liegt. Die Lichtwirkung ist zuerst

eine fast unmittelbare; erst im weiteren Verlauf des Vorganges stößt dieser gleichsam auf Schwierigkeiten und verlangsamt sich dann.

Eine zweite Eigenschaft, die noch deutlicher heraustritt, ist die, dass mit Zunahme der Intensität die Kurven steiler werden und sich der Senkrechten nähern; d. h., wie schon aus Fig. 11 folgte, dass mit Zunahme der Intensität das sogenannte Anklingen der Erregung mehr und mehr schwindet. Denkt man sich die Verbindungskurven der Maximalzeit fortgesetzt, so ist das unvollständige Dreieck $JHOJ_1$ der Raum, in welchem alle Erregungskurven von höherer Intensität als J_1 Platz haben sollen. Da mit der untersuchten Intensität J_1 die gewöhnlichen Tageshelligkeiten höchstens aber beginnen, lässt sich wohl hieraus schließen, dass das gewöhnliche Sehen ein außerordentlich rasches ist, dass kurz nach dem Augenblick, in welchem der Reiz beginnt, auch schon die entsprechende Empfindung entsteht, deren Dauer dann von der Länge des Reizes in erster Linie abhängen wird. Dagegen ist das Dämmerungssehen ein im Verhältnis hierzu außerordentlich langsames. Die Erregungskurven haben eine sozusagen träge und schleichende Form. Nur langsam erreichen die Empfindungen ihr Maximum, sie klingen langsam an. Aber wie lange dauern sie? Hierüber sagen die bis jetzt mitgeteilten Thatsachen offenbar gar nichts. Es ist zunächst nur eine Vermutung, dass nach dem Grundsatz quod cito fit cito perit die schnell entstandenen Lichtempfindungen auch schnell wieder vergehen. Ist dies auch eine Thatsache? Und wie steht es um die langsam entstandenen Empfindungen dunkler Qualität? Haben sie eine entsprechend ihrer Entstehungszeit lange Dauer oder nicht? Oder sollen wir annehmen, dass der durch einen Lichtreiz, etwa J_1 eingeleitete Prozess, falls der Lichtreiz selbst in dem Augenblick unterbrochen wird, in welchem die Maximalwirkung erzielt ist, sofort

in seinem ganzen Umfang beendet ist, wenigstens soweit er für das Bewusstsein in Betracht kommt?

Hierüber konnte eine Sicherheit nicht eher gewonnen werden, ehe man im Besitz der Kenntniss der wirklichen Maximalzeiten war. Mit Hülfe dieser und mit Hülfe unseres Apparates lässt sich aber sehr wohl ein Einblick in diese Frage gewinnen. Dauert die Lichtempfindung und mithin auch der ihr zu Grunde liegende psychophysische Prozess eine Weile an, so wird auch eine diesem Andauern entsprechende Unterbrechung des Reizes die Empfindung nicht zum Verschwinden bringen, falls der Reiz nur so rechtzeitig wieder zur Wirkung gelangt, dass die auf ihm beruhende zweite gleichartige Empfindung an die erste sich anschließt.

Es sei jedoch gestattet, ehe wir diese letzte Frage beantworten, noch einige zu den ersten Versuchen gehörige Einzelheiten nachzutragen. Die Versuche wurden im allgemeinen bei Dunkeladaptation angestellt. Der Vorhang des Beobachtungskastens wurde während des Versuches geschlossen, dagegen der Versuchsperson gestattet, nach jeder einzelnen Versuchsreihe sich am Lichte zu erholen. Einige wenige Zahlen sind auch ohne Adaptation gewonnen; der Beobachtungskasten blieb dabei geöffnet. Die so erhaltenen Zahlen sind kleiner als die oben angeführten. Die Maximalzeit betrug von

$J_3 = 0{,}020$ sec.
$J_4 = 0.037$ „
$J_5 = 0{,}047$ „
$J_6 = 0{,}070$ „

Die für das gewöhnliche Sehen in Betracht kommenden Zeiten sind also aus diesem Grunde noch als kleiner anzusetzen als die oben mitgeteilten. Von einer umfangreichen Untersuchung ohne Adaptation wurde aus dem Grunde zunächst ab-

gesehen, weil die Beobachtung im völlig Dunkeln subjektiv leichter und ungestörter von statten ging.

Auch für Farben wurden einige Maximalzeiten festgestellt, wobei der farbige Eindruck durch gefärbte Gläser und Gelatinpapiere hervorgebracht wurde. Bei sehr geringer Wirkungsdauer erscheinen solche farbigen Eindrücke bekanntlich farblos. Für die benutzten Farben ergab sich als diejenige Zeit, in welcher zuerst eine Spur der Farbigkeit bemerkt wurde, für

Rot	0,001	sec.
Gelb	0,0015	„
Blau	0,002	„
Grün	0,0025	„

Die volle Farbigkeit, sodass der Eindruck mit dem durch den dauernd wirkenden Vergleichsreiz bewirkten übereinstimmte, ergab sich für

Gelb	nach	0,020	sec.
Blau	„	0,036	„
Grün	„	0,048	„
Rot	„	0,090	„

Dabei war das Helligkeitsverhältnis der Farben so, dass sich Gelb heller erwies, als die drei übrigen Farben, Grün heller als Rot und Blau, Blau wieder heller als Rot. Die Helligkeitsreihe war also im Fortschritt vom Helleren zum Dunkleren: Gelb, Grün, Blau, Rot. Diese Feststellungen haben einen nur vorläufig orientirenden Wert aus dem Grunde, weil über die Intensität der benutzten mehr oder weniger einfachen Lichtarten unter den vorhandenen Umständen nichts auszumachen war.

6. Die Dauer der Lichtempfindungen.

Der Grundsatz, nach welchem die Dauer der Lichtempfindung aufzufinden ist, ist von uns schon ausgesprochen worden. Lassen wir einen Lichtreiz bis zu seiner eben erreichten Maximalwirkung andauern und unterbrechen ihn dann, so wird die Empfindung die Unterbrechungszeit eine Weile überdauern, falls nicht mit der peripheren Unterbrechung des Reizes von selbst ein unmittelbares Aufhören der Empfindung gesetzt sein sollte. Folgt dann ein zweiter gleichartiger Reiz von derselben Dauer, so sind drei Fälle möglich. Erstens kann die Unterbrechungszeit so lange dauern, dass die der zweiten Reizung entsprechende Empfindung von der ersten durch einen licht- und empfindungslosen Zwischenraum getrennt ist; es kann zweitens bei geringerer Unterbrechungszeit geschehen, dass die zweite Empfindung ihre volle Höhe erst erreicht, während die erste schon abklingt, oder es kann bei noch kürzerer Unterbrechung sein, dass die zweite Empfindung an die erste sich derart anlehnt, dass beide kontinuierlich ineinander übergehen, sodass wir es anscheinend mit einer einzigen kontinuierlichen Empfindung zu thun haben. Ähnlichen Erwägungen sind wir ja schon bei *Exner* begegnet. Der wesentliche Unterschied ist hier nur die Voraussetzung, dass die erste Reizung wirklich unterbrochen und nicht etwa nur durch eine folgende minder intensive ersetzt wird. Unser Apparat ermöglicht, durch die fast augenblickliche Unterbrechung dieser Bedingung zu genügen. Lässt man dagegen Weiß durch einen schwarzen Sektor »abschneiden«, so haben wir es überhaupt nicht mit einer Unterbrechung, sondern mit einem Wechsel von Reizen verschiedener Intensität zu thun. Das Ergebnis ist dann bei hinreichender Schnelligkeit ein Mischeindruck von geringerer Intensität als der erste Weißreiz. Handelt es sich dagegen um eine wirkliche und völlige Unterbrechung, so wird,

falls die Empfindungen den Unterbrechungspunkt überdauern, die überdauernde Empfindung die Intensität haben müssen, welche sie auch bei länger anhaltendem Reiz besitzen müsste (vorausgesetzt nur, dass die Reizeinwirkung nicht kürzer ist, als die der benutzten Intensität entsprechende Maximalzeit). Wir haben also, abgesehen von der Unterbrechungsmöglichkeit, noch auf diesen zweiten Punkt, auf die Intensität der erzeugten Lichtempfindung zu achten, um die Frage nach der Dauer der Lichtempfindung endgültig zu lösen. Wir können uns folgendermaßen zusammenfassen. Falls wir Lichtreize wählen von einer Dauer, dass sie gerade die Maximalwirkung hervorbringen, und falls wir im stande sind, diese zu unterbrechen oder intermittierend auf das Auge wirken zu lassen, ohne dass die Empfindung an Kontinuität verliert, und ohne dass die Intensität der Empfindung sich ändert oder wie wir auch beide Bedingungen vereinigend sagen können, ohne dass irgend ein Unterschied von einem kontinuierlich wirkenden gleichen Eindruck festzustellen ist, so ist der Beweis erbracht, dass die Empfindungen die Unterbrechungszeit überdauern. Aus den Unterbrechungszeiten können wir dann auf die Dauer der Empfindung zurückschließen. Ist dies für die Maximalzeiten festgestellt, so ist dann eine weitere Frage die nach der Dauer von Lichteindrücken, welche ihren Ursprung untermaximalen und übermaximalen Reizen verdanken. Voraussetzung einer glücklichen Lösung des Problems ist mithin neben der Möglichkeit einer einwandsfreien momentanen Unterbrechung die Bekanntschaft mit den Maximalzeiten. Ohne diese wäre es nicht möglich gewesen, die Frage der Intensität befriedigend zu lösen. Anfangs erschien mir die Frage noch immer eine offene zu sein, ob nicht allgemein durch Steigerung der Häufigkeit eines Reizes die Intensität der entsprechenden Empfindung sich erhöhen lässt. Es findet das aber nur in einem einzigen bestimmten Falle statt. Wenn ein stärkerer Lichtreiz

so kurz einwirkt, dass nur eine untermaximale Empfindung folgt, so kann man allerdings durch schnelle Folge der gleichen Reize die Helligkeit erhöhen. Die Wirkung ist dann die gleiche, wie wenn der untermaximale Reiz eine etwas längere Zeit eingewirkt haben würde. Handelt es sich jedoch um maximale Wirkungsdauer, so wird durch eine Wiederholung der Reize die Helligkeit nie vermehrt. Ebensowenig aber auch, wenn bei untermaximalen Reizen die Folge eine so langsame ist, dass die Wirkung des ersten Reizes schon zur Hervorbringung der dieser Dauer eigenen Empfindungsprozesse geführt hat. Die Zeitgrenze, um die es sich hier handelt, wird aus dem Folgenden sich ergeben. Sie hängt mit der von uns gesuchten Empfindungsdauer aufs engste zusammen, ist mit ihr gegeben. Die obige Überlegung hat sich nun durch die Versuche genau bestätigt. Lässt man intermittierende Reize durch unsern Apparat auf das Auge wirken, so ergeben sich bei längeren Intermissionen wirklich getrennte Empfindungen, bei etwas kürzeren tritt ein Stadium des Flimmerns ein, gerade wie bei den rotierenden Scheiben mit schwarzen und weißen Sectoren, und zuletzt wird der Eindruck völlig kontinuierlich. Es galt also, diesen Augenblick des Überganges vom Flimmern zur vollen Kontinuität für die verschiedenen Reizdauern und Intensitäten festzustellen. Es wurde die Frage beantwortet, wie lange kann ein beliebiger Reiz unterbrochen werden, ohne dass ein Flimmern eintritt, oder wie kurz muss die Unterbrechung sein, damit das Flimmern aufhört?

Für alle folgenden Versuche gilt, dass die Intensität des beobachteten Eindruckes im Augenblick, wo das Flimmern aufhörte, gleich war dem ununterbrochenen Eindruck oder der einmaligen Reizeinwirkung.

Ich gebe zunächst die Zahlen der möglichen Unterbrechungszeiten (J) bei verschiedenen Reizdauern für die benutzten fünf Intensitätsstufen.

Tabelle XVI. J_1. Beob. *M.*

Z	J	Z	J
0,0005	0,036	0,010	0,017
—	0,034	0,015	0,013
0,001	0,031	—	0,013
—	0,029	0,020	0,011
0,003	0,024	0,040	0,0023
—	0,024	0,100	0,0009
0,005	0,021		

Tabelle XVII. J_2. Beob. *M.*

Z	J	Z	J
0,0005	0,066	0,010	0,021
0,001	0,064	0,040	0,009
0,002	0,061	0,100	0,003
0,005	0,049		

Tabelle XVIII. J_3. Beob. *M.*

Z	J	Z	J
0,0005	[0,068]	0,020	0,043
0,003	0,063	0,040	0,021
0,005	0,060	0,060	0,017
0,010	0,057	0,100	0,007

Tabelle XIX. J_4. Beob. *M.*

Z	J	Z	J
0,001	—	0,040	0,028
0,003	0,080	0,070	0,020
0,010	0,064	0,100	0,013
0,020	0,041	0,200	[0,001]

Tabelle XX. J_5. Beob. *M.*

Z	J	Z	J
0,003	[0,0906]	0,040	0,041
0,010	0,0745	0,070	0,026
0,020	0,057	0,100	0,015
—	—	0,200	[0,001]

Die folgende Tabelle XXI stellt die gefundenen Zeiten für alle Intensitäten übersichtlich zusammen:

Tabelle XXI.

Z	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
0,0005	0,036	0,066	—	—	—
0,001	0,031	0,064	[0,068]	—	—
—	—	0,061	—	—	—
0,003	0,024	—	—	0,080	[0,0906]
0,005	0,021	0,049	0,060	—	—
0,010	0,017	0,036	0,057	0,064	0,0745
0,015	0,013	—	—	—	—
0,020	0,011	0,020	0,043	0,041	—
0,030	0,006	—	—	—	—
0,040	0,0023	0,009	0,021	0,028	0,041
0,060	—	—	0,012	—	—
0,070	—	—	—	0,020	0,026
0,100	0,0009	0,003	0,007	0,013	0,015
0,200	—	—	—	[0,001]	[0,002]

Bei den eingeklammerten Zahlen war die Beobachtung schwierig, das Ergebnis unsicher.

Die Zusammenstellung lässt deutlich zwei Richtungen der Zu- resp. Abnahme der Zahlen erkennen. Einmal sind sämtliche Werte um so größer, je geringer die Intensitäten der Reize sind, andererseits nehmen die Werte in allen Reihen mit Zunahme der Reizdauer ab, mit Abnahme derselben zu.

Die Regelmäßigkeit und Gesetzmäßigkeit, in welcher dies gilt, tritt noch deutlicher hervor, wenn wir (Fig. 13) behufs graphischer Darstellung die Zeiten der Reizdauer als Abcissen, die der zugehörigen Intermissionsdauer als Ordinaten auftragen und so für alle Intensitäten die Abhängigkeitsbeziehung beider in einer Kurve veranschaulichen.

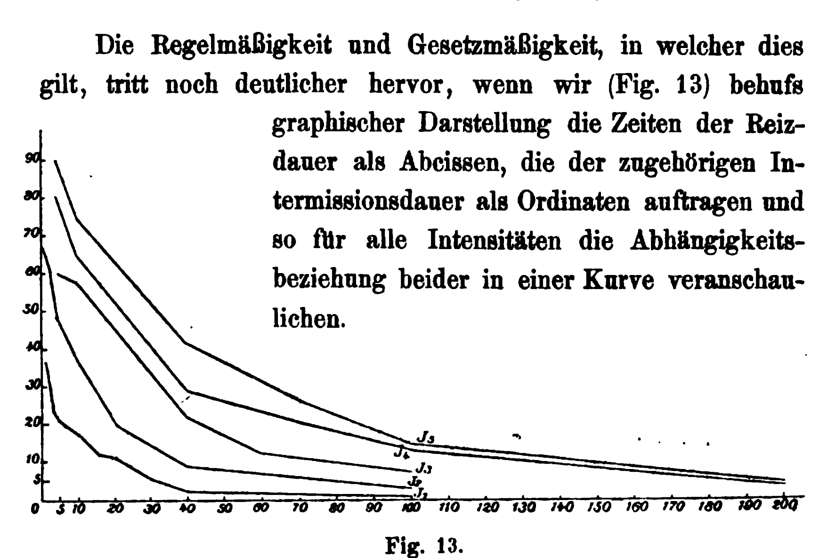


Fig. 13.

Wenn man zuerst die oft sehr beträchtlichen Unterbrechungszeiten findet, die bei den kurzen Reizen die Reizdauer um das Hundertfache übersteigen können, so ist man mit Recht erstaunt. Man muss dabei im Auge behalten, dass der Eindruck selbst ein durchaus kontinuierlicher ist und sich von dem dauernden Reiz gar nicht unterscheidet. Beiläufig folgt daraus auch, dass die Unvollkommenheiten der sogenannten Biographen, wie sie jetzt in öffentlichen Schaustellungen vorgeführt werden, das Flackern und Flimmern der Bilder, überwunden werden können, dass es sich hierbei nur um eine Frage der Technik und der richtigen Auswahl der Lichtintensitäten und deren Unterbrechungszeit handelt. Schon oben habe ich von langsamen und schnelleren Erregungsvorgängen im Anschluss an die Untersuchung der Erregungskurven sprechen müssen. Der Schluss, dass in der That die von stärkeren Reizen hervorgebrachten Lichtprozesse, peripher und central, erheblich schneller verlaufen, als die von weniger starken, ist angesichts der obigen Zahlen unabwendbar.

Diese Schnelligkeit ist abhängig von der Intensität der Reize einerseits und ihrer Dauer andererseits. Ein Reiz von gleicher Intensität bringt bei längerer Dauer einen sehr viel schnelleren Empfindungsprozess hervor, als bei kürzerer. Wir können geradezu von langsamen und schnellen Erregungs wellen sprechen, ohne damit über die Natur des Erregungsvorganges mehr aussagen zu wollen, als was aus den gefundenen Thatsachen bezüglich der Zeitverhältnisse sich notwendig ergiebt. Damit ist aber noch immer nichts Bestimmtes über die Dauer der Empfindungen selbst ausgemacht. Die Frage, welche zu beantworten ist, ist offenbar die, ob die Unterbrechungsdauer in ihrem ganzen Umfange, oder ob mehr oder weniger als diese Zeit für die Dauer der Empfindung angerechnet werden muss.

Zunächst scheint der Schluss sich aufzudrängen, dass noch mehr Zeit als die Unterbrechungsdauer selbst der Empfindungsdauer zuzusprechen ist. Man mache folgende Überlegung. Ein gegebener Reiz erreicht nach bestimmter Zeit erst seine Maximalwirkung. Setzen wir den Fall, er werde in diesem Augenblicke unterbrochen, also etwa J_4 bei 0,013. Dann ist nach Tab. XXI eine Unterbrechungsmöglichkeit von 0,015 sec. anzunehmen. Nach Verlauf dieser Zeit muss aber der neu wirkende Reiz erst wieder sein Maximum erreicht haben, ehe die ihm entsprechende Empfindung mit der vorhergehenden zu einem kontinuierlichen Eindruck sich zusammenschließen kann. Würden wir diese Zeit wieder auf 0,013 sec. rechnen, so ergäbe sich für die erste Empfindung eine Dauer von 0,015 + 0,013, also eine Dauer von 0,028 sec. gegenüber einer Reizzeit von 0,013. Wir müssten, allgemein gesprochen, die gefundenen Intermissionszeiten noch um den Betrag der Maximalzeiten vermehren, um die Empfindungsdauer zu finden (vergl. Fig. 14 S. 346).

Indessen dieser Folgerung liegt die Annahme zu Grunde, dass der zweite Reiz bis zu seinem Eingreifen in die

Empfindungsverhältnisse die gleiche Zeit bedarf, wie der erste bis zur Maximalwirkung. Dass diese Annahme richtig sein sollte, ist schon aus allgemeinen Gründen nicht wahrscheinlich. Der zweite Reiz trifft auf einen noch keineswegs zur Ruhe gekommenen Erregungszustand. Wäre dies der Fall, so würde eine geringe Verlängerung der Unterbrechungszeit nicht zum Flimmern, sondern notwendig zu einem lichtlosen Intervall führen. Der zweite Reiz hat also eine geringere Leistung als der erste zu vollbringen. Er hat nicht die Aufgabe, einen Erregungszustand bestimmter Größe in der Centralsubstanz hervorzurufen, sondern nur die, einen Erregungszustand bestimmter Größe zu erhalten, das Aufhören desselben zu verhindern; die hierzu nötige Zeit wird weit geringer sein als die Maximalzeit. Dass dies Bedenken gegen die obige Erwägung nicht unberechtigt ist, lässt sich aber auch noch direkt beweisen.

Es lag nahe, zu untersuchen, ob denn die gefundenen Intermissionszeiten von Anfang an die gleiche Größe behalten, einerlei ob es sich um zwei, drei, vier oder mehrere sich folgende Reize handelt. Gefunden waren die Zeiten bei beliebig langen Reihen. Nunmehr wurden zuerst zwei, dann drei u. s. w. Reize gegeben und untersucht, ob die möglichen Unterbrechungszeiten in diesem Falle die gleichen sind.

Es zeigte sich sogleich, dass dies nicht so ist, dass vielmehr die Unterbrechungszeiten zuerst größer sind und sich erst allmählich, etwa bei einer Folge von 5 bis 7 Reizen den zuerst gefundenen Zahlen annähern.

Tabelle XXII. J_4. Beob. *M.*

Rzd.	2 R	3 R	4 R	5 R	6 R
0,001	0,063	0,050	0,041	0,035	*0,031*
0,010	0,042	0,035	0,025	0,019	*0,017*
0,040	0,019	0,010	0,008	0,005	*0,0023*

Tabelle XXIII. J_2. Beob. *M.*

Rzd.	2 R	3 R	4 R	5 R	6 R
0,001	0,099	0,080	0,071	*0,064*	—
0,005	0,066	0,060	0,051	—	*0,049*
0,040	0,028	0,021	0,014	0,011	*0,009*

Tabelle XXIV. J_3. Beob. *M.*

Rzd.	2 R	3 R	4 R	5 R	6 R
0,001	0,100	0,078	0,074	0,070	*0,068*
0,010	0,070	0,064	0,058	*0,057*	—
0,060	0,043	0,034	0,026	0,019	*0,012*

Tabelle XXV. J_4. Beob. *M.*

Rzd.	2 R	3 R	4 R	5 R	6 R
0,003	0,103	0,087	0,080	*0,080*	—
0,020	0,070	0,056	0,048	*0,041*	—
0,100	0,034	0,022	0,019	*0,013*	—

Tabelle XXVI. J_5. Beob. *M.*

Rzd.	2 R	3 R	4 R	5 R	6 R
0,003	0,127	0,109	0,095	0,087	*0,0906*
0,020	0,085	0,070	0,063	0,056	—
0,100	0,041	0,025	0,020	*0,015*	—

Die schräg stehenden Zahlen sind aus Tab. XXI entnommen und geben also die Unterbrechungszeiten für eine beliebig lange Reihe von Eindrücken an. Die zu ganz verschiedenen Zeiten gewonnenen Zahlen von Tab. XXI und Tab. XXII/VI stimmen gut mit einander überein. Bei J_5 ist für die Reizdauer 0,003 jetzt eine etwas größere Zahl gefunden worden. Etwas unbestimmt ist

das Ergebnis für die Frage, bis zu welcher Reizzahl die Abnahme der Intermissionszeit anzusetzen ist. Fasst man die Abweichung von J_5 als Folge eines Fehlers der früheren Feststellungen auf, so würde sich ergeben, dass bei stärkeren Intensitäten die Ausgleichung eine etwas, wenn auch nicht erheblich, langsamere ist, als bei schwächeren.

Aber wie ist nun dies Ergebnis zu erklären, und wie lässt es sich zur Entscheidung der Frage der Empfindungsdauer nutzbar machen? Zuerst scheinen wir vor einem neuen Rätsel zu stehen. Man könnte meinen, die gefundenen Zahlen widersprächen aller Logik und dem gesunden Menschenverstand. Ich habe beispielsweise zuerst festgestellt, dass bei einer Folge von bloß zwei Reizen gewisser Dauer ($J_4 = 0{,}001$) eine Unterbrechungszeit von 0,063 möglich ist. Jetzt bleiben alle Bedingungen des Versuches die gleichen. Ich stelle nur das hintere Rad so ein, dass der Unterbrechungssektor des vorderen Rades das Licht nicht zweimal, sondern dreimal nacheinander durchlässt. Der Eindruck, der vorher schon ganz kontinuierlich war, flimmert jetzt wieder. Eine anscheinend ganz gleichartige Fortsetzung der Bedingungen des ersten Versuches bringt eine Änderung des Effektes hervor. Reiz 3 verhält sich scheinbar zeitlich und sachlich zu Reiz 2 ganz genau wie Reiz 2 zu Reiz 1. Wenn der Thatsachenkomplex, welcher durch Reiz 1 und 2 konstituiert ist, zu einer kontinuierlichen Empfindung führt, warum soll der genau gleiche Thatsachenkomplex, der durch Reiz 2 und 3 konstituiert ist, nicht den gleichen Erfolg haben? Wenn diese Gleichheit der Wirkung bei gleichen Ursachen bestünde, dann könnte doch unmöglich aus dem kontinuierlichen Eindruck wieder das Flimmern entstehen. Man sehe sich Fig. 14 a. f. S. noch einmal an. Das objektive Bild der Vorgänge ist genau das gleiche für E_1 und E_2, wie für E_2 und E_3; woher kommt es, dass die Wirkung eine andere ist? Der Grund

kann nur in der Falschheit der Annahme liegen, die uns hier ganz besonders angeht, dass der Erregungsvorgang R_2 C der gleiche ist wie R_1 A. Die erste Erregung schafft für die zweite Erregung ganz neue Bedingungen. Das tritt in der Zeichnung von Fig. 14 nicht hervor, da hier einfach die Feststellungen für R_1 auf R_2 übertragen worden sind. Der erste Versuch für zwei Reize sagt ja an sich über die Empfindungsdauer nichts aus. Es war nur eine Annahme, dass die aus R_1 hervorgehende Empfindung von A bis C andauere. Hier ist also die Erklärung für das wiederauftretende Flimmern zu suchen. Jene Annahme muss falsch sein. Wenn der zweite Reiz (R_2) einsetzt, wird er

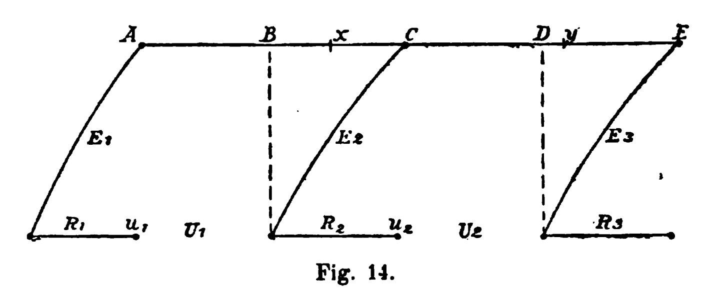


Fig. 14.

in kürzerer Zeit die eben im Schwinden begriffene Erregung wieder auf die Höhe bringen, also schon in der Nähe von B etwa bei x. Die durch R_1 hervorgerufene Empfindung, welche bei A voll entwickelt ist, dauert dann also nur bis ungefähr B an. Der neue Reiz (R_2) hat sein Maximum nicht erst bei C, sondern bald nach B. Der durch ihn hervorgerufene Prozess ist im Vergleich mit dem durch R_1 hervorgerufenen stark beschleunigt. Nun geht aus dem ganzen uns zu Gebote stehenden Material hervor, dass die schnelleren Erregungsvorgänge kürzer andauern. Die dem zweiten Reiz entsprechende Erregung kann also auch aus diesem Grunde unmöglich den Punkt u_2 so lange überdauern, als die dem ersten entsprechende den Punkt u_1 überdauert. Ein nach der gleichen Unterbrechungszeit wie vor-

her eintretender dritter Reiz (R_3) wird also erst zur Wirkung gelangen, nachdem der vorhergehende Prozess schon zu erlöschen begonnen hat, er wird ein Flimmern verursachen. Ändert man jetzt die Unterbrechungsdauer, so hört das Flimmern wieder auf; bei einem vierten Reiz wiederholt sich aber das Gleiche noch einmal. Wieder wird infolge der Beschleunigung der ganzen Erregungswelle durch den dritten Reiz der vierte das Flimmern hervorbringen, u. s. w. bis diejenige Unterbrechungszeit gefunden ist, welche dem Energiewert des Reizes und seiner Maximalwirkung angemessen ist.

Dass bei diesem Vorgang die vermutlichen Endpunkte der Reizentwicklung ($x, y \ldots$) den Endpunkten der Graden ($B, D \ldots$) schließlich wirklich sehr nahe kommen, ist freilich nicht zu beweisen, es ist aber doch außerordentlich wahrscheinlich. Eine gewisse Abweichung wird ja bleiben, und zwar wird die Abweichung um so größer sein, je geringer die zur Wirkung gelangende Lichtenergie ist; der Fehler, den wir bei der geschilderten Annahme machen, wird relativ für alle Intensitäten ungefähr derselbe sein. Abgesehen von diesem Fehler würde dann der Satz gelten, dass die Empfindungsdauer gleich ist der Reizdauer vermehrt um die mögliche Intermissionsdauer, vermindert um die Zeit des Anklingens, welche letztere aus den angegebenen Gründen aber vernachlässigt werden kann.

Es ist jetzt wohl an der Zeit, auf das ganze Material noch einen Blick zu werfen und die in ihm liegenden Ergebnisse zusammenzufassen.

Die Aufgabe, die Dauer der Lichtempfindung zu bestimmen, ist gelöst, aber nur mit Hilfe einer Reihe von Sätzen über die Geschwindigkeit der Lichterregungsprozesse.

Die Geschwindigkeit, mit welcher Reize verschiedener Intensität ihre Maximalwirkung erreichen, ist um so größer, je stärker der Reiz ist; die zur Maximal-

wirkung nötige Zeit wächst aber langsamer als die Intensitäten.

Der einzelne Erregungsvorgang verläuft zuerst schneller und dann langsamer und zwar um so mehr, je geringer die Intensität ist.

Die Dauer der Empfindungen ist einerseits abhängig von den Reizdauern, andererseits von den Intensitäten der Reize. Je länger die Dauer der Reize einerseits und je höher die Intensität andererseits, um so kürzer die Empfindungsdauer oder um so kürzer das Weiterbestehen der Empfindung über die Reizdauer hinaus; und zwar nimmt die Empfindungsdauer bei allen Intensitäten mit der Reizdauer sehr schnell, dann immer langsamer ab.

Beachten wir auch die absoluten Zeitgrößen, die wir gefunden haben, so zeigt sich, dass sowohl das Anklingen, als das Abklingen bei denjenigen Intensitäten und derjenigen Reizdauer, welche für uns im täglichen Leben in Betracht kommen, eine recht geringe Zeit in Anspruch nimmt. Darin allein liegt offenbar der Grund, dass diese Vorgänge im Bewusstsein keine Rolle spielen. Die größte von uns untersuchte Intensität (J_4) bedurfte 12 σ zur Maximalwirkung und hatte nach einer Reizdauer von $^1/_{10}$ sec. nur eine Verlängerung der Empfindungsdauer um $^1/_{1000}$ sec. Im täglichen Leben sind aber nicht nur die Lichtstärken in der Regel größer, wie die untersuchte, sondern es ist auch die Dauer der Reizeinwirkung gewöhnlich eine längere, als die eben genannte. Es folgt das schon aus der Langsamkeit der Augenbewegungen. Da beide Umstände gleichmäßig auf eine weitere Verkürzung der Zeiten hinwirken, ist die Einrichtung des Erregungs- und Empfindungsverlaufes für den Gebrauch der Augen offenbar eine möglichst zweckmäßige. Diese Zweckmäßigkeit tritt noch deutlicher hervor, wenn wir uns

erinnern, dass auch für den Apperzeptionsvorgang die Zeiten, welche länger sind als $^1/_{10}$ sec., günstiger liegen. Wenn ich sagte, diese verschiedenen Geschwindigkeiten spielten im Bewusstsein keine Rolle, so schließt das nicht aus, dass der allgemeine Eindruck des Schwerfälligen, den wir mit dem Dunklen, schlecht Beleuchteten verbinden, die Verwandtschaft mit den tiefen Tönen im Gegensatz zum Heitern und Leichten des »Lichtvollen« auf diese Geschwindigkeitsverhältnisse zurückzuführen sein dürfte.

Das Talbotsche Gesetz. Wir sahen oben, dass wirklich intermittierende Lichtreize, wenn sie auf dieselbe Netzhautstelle wirken, nur in einem bestimmten Falle die Intensität des resultierenden Eindruckes beeinflussen, wenn nämlich die Reizdauer unter derjenigen der Maximalwirkung und die Intermissionsdauer unter der Maximalzeit für die Intermissionen liegt. Wir haben dann einen dem Talbotschen Gesetze entsprechenden Fall, wie er auch verwirklicht ist, wenn in bekannter Weise eine Scheibe mit schwarzen und weißen Sektoren so schnell gedreht wird, dass für unsere Auffassung ein gleichförmiges Grau entsteht. Dieser Fall ist also nunmehr als ein Spezialfall der in ihrer allgemeinen Natur geschilderten Erregungsvorgänge anzusehen, als der Fall, welcher eintritt, wenn ein neuer Lichtreiz die gleiche Stelle der Netzhaut trifft, ehe die durch den ersten hervorgerufenen Gesamtprozesse abgelaufen sind. Bei der gedrehten Scheibe mit schwarzen und weißen Sektoren ist gar keine Intermittenzzeit zwischen den aufeinander folgenden Reizen vorhanden, unter den oben erwähnten Umständen eine zu kleine.

Ist dies richtig, so müssen sich offenbar die näheren Umstände, welche sich bei Untersuchung des Talbotschen Gesetzes für die Zeitverhältnisse ergeben haben, auf die oben angeführten Sätze zurückführen lassen. Fragen wir ganz allgemein,

wann Reize des Auges zu einer kontinuierlichen Empfindung führen werden, so werden wir aus den obigen Sätzen deduzieren müssen, dass dies in allen denjenigen Fällen geschehen wird, wenn zwei Reize für dieselbe Netzhautstelle zeitlich so einander folgen, dass die durch sie ausgelösten Erregungen sich übereinanderlagern, oder decken müssen. Dagegen tritt Flimmern oder eine bloße Succession ein, wenn die Zeitdifferenz so groß ist, dass das Decken der Erregungsvorgänge sich ausschließt; und endlich eine kontinuierliche Empfindung ohne Änderung der Intensität, wenn die Intermission der gleichen Reize gerade diesen angemessen ist. Ein kurzer Schwarzreiz, etwa von 0,005 sec., und ein längerer Weißreiz, etwa von 0,06 sec. haben jeder eine Dauer von etwa 0,070 sec. Wenn sie einander folgen, beträgt ihre Gesamtreizdauer 0,065. Denken wir uns den entsprechenden Erregungsverlauf ganz unabhängig von einander, würden also ungefähr die beiden Erregungsvorgänge dieselbe Zeit in Anspruch nehmen und zugleich mit der Gesamtreizdauer, die ja nur 0,065 beträgt, der Zeit nach übereinstimmen. Die beiden Erregungswellen würden sich superponieren und zu einer mittleren Erregungswelle führen. Der so analysierte Fall kommt nun in Wirklichkeit nicht vor. Wir überzeugten uns schon davon, dass ein zweiter Reiz, welcher eine erregte Netzhautstelle trifft, nicht zu demselben Prozess Veranlassung giebt, welcher ohne den ersten Reiz ablaufen würde; vielmehr wird durch den zweiten Reiz der erste Prozess nur beeinflusst und modifiziert. Folgt dann auf den zweiten Reiz wieder der erste, wie das bei Scheibenversuchen der Fall zu sein pflegt, so gilt für diesen dasselbe. Auch seine Wirkung verläuft nicht unbeeinflusst von den vorhergehenden Prozessen. Dass auf diese Weise der Endeffekt ein der mittleren Intensität der Reize entsprechender sein wird, wie das Talbotsche Gesetz sagt, folgt von selbst. Die Endeffekte erwiesen sich ja ganz allgemein

abhängig von der Intensität der Reize, deren bestimmte Quantität Licht zu dem Endeffekt beitrug unter der näheren Bestimmung, dass für den Maximaleffekt der zusammenwirkenden Reize eine bestimmte Dauer der Einwirkung Vorbedingung ist, und dass innerhalb einer solchen Dauer für jede Intensität nur eine bestimmte Maximalwirkung erreichbar ist. Dabei ist dann die Verteilung der betr. Quantität Licht innerhalb der nötigen Zeit gleichgültig, wie von den Scheibenversuchen deutlich genug bestätigt wird. Für die Verschmelzung zweier Eindrücke zu einem Gesamteindruck ist dann offenbar der Grundsatz aufzustellen, dass ein Umstand, welcher die natürliche Erregungsdauer des einen Eindruckes im Verhältnis zu der des anderen verlängert oder verkürzt, die Verschmelzung erschweren, das Flimmern oder die selbständige Wirkung des einen der abwechselnden Reize hervortreten lassen wird. Die eine Erregung ist im Verhältnis zur zweiten zu lang oder zu kurz; eine schnellere Drehung hebt diese relative Ungleichheit auf, indem sie zwar das Verhältnis der Zeiten zu einander nicht ändert, aber die Zeiten so verkürzt, dass keiner der Reize mehr innerhalb der Gesamtdauer der beiden Reize zu alleiniger voller Entwicklung gelangen kann. Das ist aber bei gedrehten Scheiben mit verschiedenen Sektoren in allen Fällen möglich. Wenn man so will, so sind die so oft untersuchten Erscheinungen des Talbotschen Gesetzes eine Folge des glücklichen Umstandes, dass eine Scheibe nicht mehr als 360° hat, und des weiteren ebenso glücklichen Umstandes, dass eine Scheibe auf geeigneter Vorrichtung jede beliebige Geschwindigkeit erhalten kann. Das Zeitverhältnis der beiden Eindrücke ist durch den ersten Umstand ein begrenztes und die Zeiten der Einzeleindrücke sind durch den zweiten Umstand so variirbar, dass sie jedesmal unter die Größe hinuntergedrückt werden hönnen, in welcher sie zur Selbständigkeit gelangen würden. Es liegt darin zugleich, dass

die rotierenden Scheiben ein geeignetes Mittel zur Untersuchung der Erregungsdauer und Empfindungsdauer überhaupt nicht waren, und dass sich auch für die Verschmelzungserscheinungen nur ein unvollkommenes Material mit ihrer Hilfe gewinnen lässt. Durch die Versuchsanordnung selbst ist eine hinreichende Variirung der Bedingungen ausgeschlossen. Kein Wunder, dass alle speziellen Theorien, welche sich an diese Erscheinungen anlehnen, nur ein einseitiges Bild der wirklichen Thatsachen erschließen. Es sei gestattet, aus der Untersuchung Marbes (zur Lehre von den Gesichtsempfindungen, welche aus successiven Reizen resultieren, Philos. St. Bd. IX. S. 384), zwei der wichtigsten Tabellen über die erforderliche Dauer der zur Verschmelzung nötigen Zeit wiederzugeben und an ihnen zu zeigen, dass die durch unsere Bestimmung der Lichtempfindungsdauer an die Hand gegebenen Gesichtspunkte thatsächlich die bei der Untersuchung des Talbotschen Gesetzes gefundenen Zeitwerte zu erklären vermögen. Die eine Tabelle zeigt, wie die für die Verschmelzung zweier successiver Reize erforderliche Dauer mit wachsender Intensität der Reize geringer wird.

Tabelle XXVII.

Js	Js = Jw	Jw
1,00	0,024	40,1
1,33	0,021	53,4
1,90	0,019	76,1
5,83	0,016	233,3
5,91	0,015	227,5
11,03	0,013	466,2
16,68	0,012	667,0
17,24	0,011	689,6
79,20	0,010	3168,1

Die beiden Reize sind in diesem Falle gleich lang (*Js* = *Jw*); mit Zunehmen der Intensität der Reize verkürzte sich die

erforderliche Dauer der Reize. Nun wissen wir, dass mit Zunahme der Intensität die Erregungsvorgänge sich beschleunigen. Würde die Reizdauer für $Jw = 3168{,}1$ dieselbe bleiben wie für $Jw = 40{,}1$, so würde offenbar Jw eine selbständige Empfindung werden können, ehe der betreffende s Halbkreis zur Wirkung kommt, das Flimmern träte ein. Die Reizdauer von $Jw = 3168{,}1$ muss auf 0,010 verkürzt werden, eine Zeit, in welcher auch unser J_1 noch nicht die Maximalwirkung erreicht hatte, so dass der schwarze Sektor noch rechtzeitig in Funktion tritt, um eine Superposition der Erregungen zu ermöglichen. Umgekehrt bei $Jw = 40$ und $Js = 1$ ist die Dauer beider Erregungswellen eine verhältnismäßig lange, eine so lange, dass sie beide die Reizdauer von je 0,024 sec., welche hier festgestellt wurde, übersteigen. Hier bedurfte es daher keiner größeren Beschleunigung. Nach unsern Anschauungen müssen wir sagen, dieser Fall lag für die Verschmelzung günstiger. Denn nicht dann sind die Verhältnisse für die »Verschmelzung« als günstig anzusehen, wenn die gefundenen nötigen Zeiten verhältnismäßig kurz, sondern umgekehrt, wenn sie verhältnismäßig lang sind. Das schnellere Drehen der Scheibe ist eine notwendige Maßregel für die Fälle, in welchen eine Erregung zur selbständigen Empfindung führt, wenn also die Bedingungen des Zusammenwirkens zweier Reize ungünstig liegen. Die Empfindungen verschmelzen ja gar nicht; sondern die Reize wirken zusammen, und das Zusammenwirken wird erschwert durch die Schnelligkeit der Erregungsprozesse. Dieser Erscheinung wirkt dann die Verkürzung der Reizdauer entgegen. Ebenso leicht ist die Anwendung des Gefundenen auf die folgende Tabelle.

Tabelle XXVIII.

Jw	Js	Jw	Js
5780,0	144,50	0,034	0,002
		0,023	0,005
		0,017	0,009
		0,011	0,011
		0,005	0,016
		0,004	0,020
		0,002	0,028

Hier sind die Intensitäten (*Jw* und *Js*) überall die gleichen, aber die Verhältnisse der *s* und *w* Sektoren zu einander variiren. Wir betrachten wieder die extremen Fälle. Sowohl der kurze Weißreiz, als der kurze Schwarzreiz hat eine verhältnismäßig lange Empfindungsdauer. Es ist daher begreiflich, dass mit ihm eine längere *S*- resp. *W*-reizung zusammen bestehen kann, ohne dass die Verschmelzung unmöglich wird. Für die benutzte Intensität wird die Zeit 0,034 für *W* schon über der Maximalzeit liegen; da aber die Dauer von 0,001 Schwarzerregung eine noch viel längere ist, wird doch notwendig ein Zusammenwirken eintreten. Und so ähnlich im umgekehrten Falle. Es wird nicht nötig sein, fortzufahren. Der genaue Einblick, den wir durch unsere Versuche in das wirkliche Geschehen bei der Entstehung der Lichtempfindung gewonnen haben, lässt eine leichte Anwendung auf diese oder ähnliche besondere Fälle zu. Solche ähnlichen Fälle sind vor allem die von *Rood*, *Schenck* u. a. untersuchten Flimmerwerte oder Intermittenzhelligkeiten der Farben, für welche zuerst die entsprechenden Maximalzeiten und Erregungskurven genau festzustellen wären. Es ist anzunehmen, dass auch ein Einblick in die genauere Art des Vorgangs der Superposition durch eine hierauf gerichtete besondere Untersuchung sich wird

gewinnen lassen. Es müssen zu diesem Zwecke genaue Helligkeitsbestimmungen bei zwei successiven verschieden starken Reizen, deren Unterbrechungszeit zu variiren wäre, vorgenommen werden. Ehe dies geschehen ist, kann die Zurückführung der Erscheinungen des Talbotschen Gesetzes nur eine in allgemeinen Zügen gehaltene sein; es muss hinreichen zu zeigen, dass die Zeiterscheinungen im Falle des Talbotschen Gesetzes mit den bekannt gewordenen Zeitverhältnissen der Entstehung der Lichtempfindung im Allgemeinen übereinstimmen und sich auf diese zurückführen lassen.

Ich möchte nicht schließen, ohne der Arbeiten eines französischen Forschers zu gedenken, deren Ergebnisse den unsrigen in wichtigen Punkten nahe kommen. Ich berichte vorwiegend, nur das hier wichtig Erscheinende herausgreifend, nach der zusammenfassenden Darstellung, welche Charpentier selbst von dem Inhalt seiner mannigfach zerstreuten Aufsätze in dem Arch. d'opthalmologie, Tome X, Paris 1890, gegeben hat unter dem Titel: »Recherches sur la persistance des impressions rétiniennes et sur les excitations lumineuses«.

Charpentier hat von Anfang an sein Augenmerk auf die Untersuchung der Zeit gerichtet, während welcher der Lichteindruck die anregende Ursache überlebt, ohne seine Intensität zu ändern (survit à la cause excitatrice en conservant en apparence la même intensité). Er nennt dies, wie schon Plateau, das Beharren der Lichteindrücke (la persistance des impressions rétiniennes). Ausgeschlossen sind also die Erscheinungen des Abklingens, oder des positiven Nachbildes, in Bezug auf welche

---

Anmerkung. Dass das Minimum der Gesamtdauer hier ungefähr bei gleicher Reizdauer eintritt, was übrigens in zwei von den drei Tabellen nicht einmal genau stimmt, ist offenbar durch die zufälligen Versuchsbedingungen veranlasst. Ähnliches gilt auch noch von manchen andern in diesem Zusammenhang gemachten Beobachtungen.

er auf Exner, Hering, Aubert u. a. verweist. Das Beharren des Lichteindrucks ist der Sache nach dasselbe, was wir als Dauer der Lichtempfindung bezeichnet haben. Indessen besteht doch von Anfang an der wesentliche Unterschied, dass der Begriff der persistance mit Rücksicht auf die peripheren Reizverhältnisse gebildet ist, während wir von Anfang an Wert darauf gelegt haben, die zeitlichen zentralen Verhältnisse in völliger Unabhängigkeit von den peripheren Vorgängen zu untersuchen. Die Versuchseinrichtung Charpentiers war weit glücklicher als diejenige Exners. Er benutzte zur Abstufung der Reize einen Mareyschen »cylindre enregistrateur«, der mittelst eines elektrischen Motors in »sehr regelmäßige« Umdrehungen versetzt werden konnte. Über die Kontrolle der Geschwindigkeit wird nichts gesagt. Es wurden zwei Geschwindigkeiten angewendet; die eine bewirkte eine Umdrehung des Cylinders in 0,29 sec. ($5^o = 0{,}004$ sec.), die andre in $\frac{1{,}36}{6}$ sec. ($5^o = 0{,}0032$ sec.). Im übrigen wurde die Dauer der Eindrücke durch die Veränderung der Sektoren einer Scheibe variirt, die eine ebene Seite des Zylinders bedeckte. Die Scheibe war in einigen Fällen schwarz mit aufgeklebten weißen Sektoren, in andern Fällen waren die Sektoren aus der Scheibe ausgeschnitten, und das Licht fiel von hinten durch den Zylinder hindurch. Immer wurde dafür gesorgt, dass die zu vergleichenden Eindrücke gleichzeitig dem Beobachter geboten wurden, indem die betreffenden Sektorenausschnitte übereinander lagen, wie die nebenstehende Figur veranschaulicht.

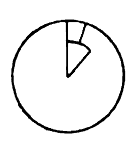


Fig. 15.

Betrachtet wurde das Licht durch ein von Charpentier konstruiertes »Photoptomètre« (vergl. Charpentier, la lumière et les couleurs S. 123 und Fig. 16).

Bei A befand sich eine Convexlinse, deren reelles Bild auf

dem Mattglas bei C entworfen wurde. Dies Mattglas war mit schwarzem Papier beklebt, das einen Spalt von $1^1/_2$ mm frei ließ. Dieser Spalt, der bei der Ausführung der Versuche mithin in der oberen Hälfte von schwächerem, in der unteren Hälfte von stärkerem Licht beleuchtet wurde, konnte durch das Objektiv (O) betrachtet werden. Die Lichtintensitäten wurden außerdem durch ein an der Linse befindliches Diaphragma mit einstellbarer Spaltöffnung abgestuft. Die Intensität des Lichtes setzte Charpentier dem Quadrat der Öffnung dieses Spaltes gleich und gründet hierauf die Berechnung seiner Lichtintensitäten. Dieser Ansatz scheint mir schon deshalb anfechtbar, weil es zweifelhaft erscheint, ob das durch den vorderen Spalt gelassene Licht in seiner ganzen Masse auf dem Spalt der Mattglasscheibe für das Auge zur Wirkung gelangt. Außerdem ist der Einwurf zu machen, dass der Mareysche Zylinder sich so schnell drehte, dass die schwarzen Sektoren der Lichtscheibe auf die Lichtwirkung nicht ohne Einfluss waren. Es fehlt die unmittelbare und momentane Unterbrechung des Lichteindruckes. Immerhin war bei der Schnelligkeit der angewandten Drehung diese Einrichtung der Exnerschen bedeutend überlegen. Es zeigt sich dies auch in den Ergebnissen, die den unsrigen weit näher stehen als jene. Zuerst untersuchte Charpentier die Maximalzeiten, wie wir uns oben ausgedrückt haben. Er gelangt dazu durch die Beobachtung, dass kurzdauernde Einwirkungen von starken Lichtreizen keine volle Wirkung zu erreichen vermögen. Die Wirkungen des Lichtes häufen sich wie auf einer photographischen Platte und sind in gewissen Grenzen (bis zur Erreichung der Maximalwirkung) der Zeit proportional.

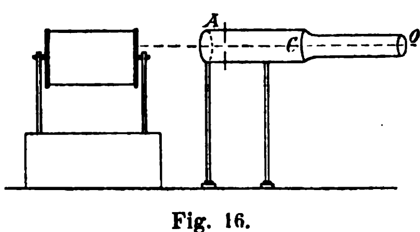


Fig. 16.

Diese Periode bis zur Maximalwirkung bezeichnet Charpentier als die Zeit, in der die Elementareindrücke oder die Wirkungen des Lichtes in der Zeiteinheit sich addieren (période de l'addition des impressions élémentaires). Und er sucht nun die Grenze dieser Periode, die mit unserer Maximalzeit identisch ist, indem er das in beschriebener Weise durch einen Sektor abgestufte und unterbrochene Licht mit dem kontinuierlichen Lichte mittelst seines Photoptometers verglich. In Übereinstimmung mit unsern Ergebnissen stellt Charpentier die Zunahme der Zeiten der Periode der Addition der Elementareindrücke bei Abnahme der Lichtintensität fest, während seine durch kaum ausreichendes Versuchsmaterial gestützte Annahme, dass die Wirkung bis zur Maximalzeit der Zeit proportional sei, wie erinnerlich, unseren Ergebnissen widerspricht. Die von ihm gefundenen Maximalzeiten stimmen mit den unsrigen wieder besser. Ich gebe die am besten übereinstimmende Tabelle.

éclairage	900	Angle du secteur	8,7°	durée de la lumière	0,012 sec.
„	400	„	12,0°	„	0,017 „
„	100	„	16,3°	„	0,023 „
„	28	„	30,0°	„	0,042 „
„	4	„	44,3°	„	0,062 „

Die Unterschiede der Lichtintensitäten sind hier bedeutend größer als bei uns; trotzdem sind die Unterschiede der Maximalzeiten geringer. Die Kurven, die aus den Zahlen Charpentiers folgten, würden zwar ebenfalls, wie die unsrigen (cf. S. 332), im Anfang steiler sein wie am Ende, indessen wäre der Verlauf im ganzen viel flacher. Charpentier versucht dann die Begründung des Gesetzes, dass die Periode der Addition der elementaren Lichteindrücke im umgekehrten Verhältnis der vierten Wurzel der Lichtstärken variirt, oder wenigstens im umgekehrten Verhältnis einer Funktion dieser Wurzel. Indessen

die Zahlen, wie sie Charpentier aufführt, fügen sich dieser Beziehung in Wirklichkeit nicht.

Nach diesen Feststellungen macht Charpentier den Übergang zur Auffindung der persistance rétinienne. Er wandte verschiedene Methoden an. Die Bedeckung eines Lichtes durch ein Plättchen konnte auf elektrischem Wege schnell entfernt werden und stellte sich dann ebenso wieder zurück. Die Auslösungen wurden durch Zahnräder mit 90 und 30 Zähnen bewirkt, welche eine Tour in 7 sec. machten, so dass in 1 sec. 13 resp. 4 Zähne passierten und jeder Zahn vom andern um $^1/_{13}$ resp. $^1/_4$ sec. entfernt war. Die Zeit des Reizes wurde nicht berücksichtigt, die Zeit der persistance dem Intervall gleichgesetzt, nachdem die Intensität so reguliert war, dass das Flimmern aufhörte. In einem andern Falle drehte sich eine dunkle Scheibe mit Ausschnitten verschiedener Größe zwischen der Lichtquelle und dem Photoptometer; wieder wurde das Aufhören des Flimmerns unter Variirung der Lichtstärke durch den Spalt bestimmt. Die Ausschnittzeit wurde der Reizzeit, die Zeit des Vorübergangs der 3 Sektoren der persistance unmittelbar gleichgesetzt. Wieder in anderen Fällen benutzte Charpentier zwei übereinander verschiebbare Scheiben mit gleichem Ausschnitt, durch deren Verschiebung die Intervalle zu ändern waren. Das Aufhören des Flimmerns wurde auch beobachtet bei Variirung der Beleuchtung und Dauer der Erregung. Der zweite Reiz ist, wie Charpentier sich ausdrückt, der Zeuge für die Schätzung der persistance des ersten. Die Versuche waren mannigfaltig, die Versuchsbedingungen günstig genug, um die einzelnen Abhängigkeitsbeziehungen der Dauer der Lichtempfindung in gewissem Grade hervortreten zu lassen, obschon hier nirgends von einer wirklichen Isolierung eines einzelnen Reizes, einer wirklichen Unterbrechung die Rede sein kann. Die Zahlen, die Charpentier fand, sind für die schwächeren

Reize, falls es erlaubt ist, die unsern als Maßstab zu nehmen, bedeutend zu groß, ebenso auch für die stärkeren Intensitäten. Als Beispiel diene die Reihe:

Eclairage	30 l	Persistance	0,234 sec.
„	50 l	„	0,109 „
„	1076 l	„	0,047 „
„	63642 l	„	0,010 „

Charpentier kam zu dem Ergebnis, dass die Dauer der persistance im umgekehrten Verhältnis zur Dauer des Reizes steht, dass sie im umgekehrten Sinn der Intensität des Lichtreizes und zwar im umgekehrten Verhältnis zur Quadratwurzel derselben variirt, und dass die Dauer des ersten Reizes abhängig ist von der Dauer und der Intensität des zweiten Reizes. Die letzte Erscheinung ist von uns genauer dahin bestimmt, dass ein zweiter Reiz selbst bei unveränderter Intensität auf die scheinbare Dauer des ersten einen Einfluss hat. Die übrigen Sätze kommen mit unsern Aufstellungen im allgemeinen überein, wenn auch weder die bestimmte Funktion, noch die Größe der von Charpentier gefundenen Zahlen sich hat bestätigen lassen. Über die Details verweise ich auf die Arbeiten Charpentiers selbst.

Ein wesentlicher Mangel in dem Verfahren Charpentiers liegt einmal nach meiner Meinung in dem Umstand, dass nicht hinreichend die durch den Wechsel mehrerer Reize hervorgebrachte Intensität des Eindrucks berücksichtigt worden ist, zweitens — und das hängt eng zusammen — in der mehrfach hervorgehobenen Vermengung des Falles wirklicher Intermittenz und bloßer Folge intensiv sehr verschiedener Eindrücke, endlich aber auch in der nicht völligen Klarheit des Begriffs der persistance. Charpentier gelangt zwar allmählich infolge seiner Untersuchung zu der Folgerung, dass diese wahrscheinlich nicht auf peripheren, sondern zentralen Gründen beruhe, ja

er findet schließlich die Ursache der Erscheinung in der »sensation proprement dite«, erklärt die Erscheinung als Empfindungsthatsache; allein eine völlige Klarheit des psychologischen und physiologischen Standpunktes wird doch nicht gewonnen. Der Umsatz psychologischer Befunde in physiologische Vorstellungen pflegt bei den physiologischen Forschern ein zu jäher, unvermittelter zu sein. Als ob erst in dem physiologischen Vorgange die eigentliche Realität erreicht sei. Zunächst sind alle hier gemachten Beobachtungen psychologischer Natur, Vergleiche von Empfindungen. Gegeben sind psychische Realitäten. Auf die zu Grunde liegenden physiologischen Vorgänge können wir nur schließen. Mit demselben Fehler hängt die immer wiederkehrende Neigung zusammen, die peripherischen Vorgänge als die allerwichtigsten Grundlagen der Empfindung anzusehen, während sie doch offenbar auch nur ein Stadium, einen Durchgang eines Gesamtvorgangs darstellen.

Ich hege die Hoffnung, dass durch die obige Darstellung auf diesen Gesamtvorgang, zunächst nach seiner psychischen und infolgedessen auch nach seiner physischen Seite, einiges neue Licht gefallen ist. Das einfache Schema, Dauer des Reizes und dementsprechend Anklingen, Empfinden und Abklingen, dürfte in keiner Weise für eine richtige Auffassung mehr genügen. Es giebt ein Abklingen und Anklingen der Empfindungen, aber dies findet, wie gezeigt, schon bei mittelstarken und bei langen Reizen sehr schnell statt. Wenigstens beträgt die Dauer einer solchen Empfindung über den Reiz hinaus nur eine ganz kurze Zeit, und dem entsprechend ist also die Dauer des eigentlichen der Empfindung entsprechenden Erregungsvorgangs als schnell mit dem Aufhören des Reizes beendigt anzusehen. Es folgt dann der verklungenen Empfindung nach einer empfindungslosen Pause das positive Nachbild. Dies positive Nachbild wird nun nach wie vor als die Folge des Abklingens

der Empfindungserregung anzusehen sein; es stellt aber offenbar einen eigenen Prozess besonderer Art dar, und ist nicht, wie wir so lange annahmen, der bloße Abschluss des eigentlichen Empfindungsprozesses. Die Welle des Empfindungsproprozesses kommt erst allmählich zur Ruhe, wie auch die durch einen hineingeworfenen Stein entstandene Wellenbewegung in einem Teiche erst allmählich aufhört, nur dass es sich in dem letzteren Falle um einen kontinuierlichen einzigen Vorgang handelt, im ersteren nicht. Für das Bewusstsein und unsre Auffassung der Dinge haben die positiven Nachbilder keine besondere Bedeutung; es sind Reaktionen, deren Aufgabe anscheinend die Erhaltung des gestörten Wahrnehmungsvermögens ist. Auch das negative Nachbild beruht wahrscheinlich auf einem besonderen, durch die peripheren Reizungsvorgänge nur eingeleiteten, selbständig verlaufenden Prozesse. Was die Zeit des Ablaufs desselben betrifft, so besteht ein wesentlicher Unterschied der negativen von den positiven Nachbildern darin, dass die Reaktionen, welche das negative Nachbild erzeugen, schon in und mit der Reizdauer beginnen, also schon neben den eigentlichen Empfindungsprozessen herlaufen, ohne peripherische oder zentrale Störungen hervorzubringen, welche den weiteren normalen Ablauf des Empfindungsprozesses hindern. Wenigstens glaube ich so auch heute noch allein den psychologischen Thatsachenbestand bei den negativen Nachbildern verstehen zu sollen.

Wenn Wirth (Phil. St. Bd. XVI. S. 466 ff.) ausführt, dass die von mir geschilderten Erscheinungen auch nach der alten Ermüdungstheorie zu erklären sind, so kann ich das zugeben bis auf die von ihm nicht besonders erörterte Thatsache, dass die sogenannte Ermüdung durch ein und dieselbe Grauerregung je nach der Helligkeit des Hintergrundes zu einer Verdunkelung (Ermüdung) oder Aufhellung (Erholung) führt. Soll auch hier die Ermüdung resp. Erholung nur eine relative sein? Dem

widerspricht, wie Hering schon hinreichend ausgeführt hat, dass ein auf hellerem Hintergrund fixiertes Grau überhaupt heller als vorher, ein auf dunklerem Hintergrund fixiertes gleiches Grau überhaupt dunkler als vorher wird. Ich glaube, Wirth schlägt das absolute Gedächtnis für Helligkeiten doch zu gering an. Richtig ist ja, dass die Helligkeit der Tagesbeleuchtung in Wirklichkeit eine stärker wechselnde ist, als man gewöhnlich meint. Ein Blatt Papier, dass wir etwa zum Schreiben benutzen, erscheint uns trotz dieses Wechsels stets als das gleiche. Wir erkennen es wieder und nehmen nicht etwa an, dass es zwischen Morgen und Abend grauer geworden ist. Hier kommt uns aber unsere tägliche Erfahrung, die auf ihr beruhende Gewohnheit, und der im Weberschen Gesetz zum Ausdruck kommende Umstand, dass alle Helligkeiten sich in gleichem scheinbaren Verhältnis ändern, zu statten. Auch die Farbenunterschiede des gleichen Papiers bei Sonnenlicht und Lampenlicht pflegen wir nicht zu beachten. Jedoch wir bemerken sie sofort, sobald wir nur darauf achten lernen, oder sobald ein Vergleichseindruck zu Gebote steht. Niemand wird heute noch die Theorie Helmholtzens zur Erklärung der blauen Schatten vertreten wollen. In unserem Falle liegen aber die Verhältnisse doch viel günstiger, wenn es sich um die Frage handelt, ob eine gesehene weiße Fläche nach vorhergegangener Ermüdung eines Teils der Netzhaut in den ersten Sekunden der Betrachtung den normalen Eindruck macht oder nicht. Unter dem normalen Eindruck kann hierbei selbstverständlich nur der Eindruck verstanden werden, der vorhanden sein würde, falls eine »Ermüdung« des Organes durch Fixation nicht vorangegangen wäre, also ein Eindruck unter sonst gleichen Bedingungen mit Abzug der Nachbilderzeugung. Nun sehen wir die Wand, auf die wir etwa ein Nachbild nach dessen Erzeugung projizieren, unmittelbar vorher; wir sehen sie auch nach der

Erzeugung des Nachbildes etwa 1 Sekunde lang und mehr in der gleichen Helligkeit wie vorher. Haben wir nun in diesem Fall die Helligkeit der Wand nicht mehr in der Erinnerung, sodass ihre auf Ermüdung der einen Stelle der Netzhaut beruhende Verdunkelung von uns nicht bemerkt wird? Aber sie verdunkelt sich (hellt sich auf) ja nur erst, nachdem sie uns den gleichen Eindruck gemacht hat. Und erst diese nachträgliche Verdunkelung (Aufhellung) stellt die Beeinflussung durch das Nachbild dar, eine Beeinflussung, deren Betrag, nach meiner Methode gemessen, sich durchaus gleich erweist den Beträgen, welche man nach der Gleichzeitigkeitsmethode erhält, wie Wirth anerkennt. Damit ist ja eine Täuschung über das unveränderte Aussehen der Wandfläche im ersten Augenblick der Projektion des Nachbildes ganz ausgeschlossen. Die Wand müsste doch in Wirklichkeit aussehen, wie sie erst erscheint, nachdem das Nachbild sich entwickelt hat. Und wir sehen doch dieses sich erst entwickeln; wir sehen doch den Unterschied. Also so ist der von mir angewandten Methode nicht beizukommen. Es giebt dazu nur einen Weg. Man muss bestreiten, dass nach Erzeugung eines Nachbildes eine »reagierende« Fläche eine gewisse Zeit lang fixiert werden kann, ohne dass man das Nachbild sieht. Und dies zu erweisen, dürfte schwer fallen. Erfordert es doch bekanntermaßen bei ungeübten Beobachtern oft recht lange Zeit, bis man sie dahin bringt, das Nachbild überhaupt auf einer reagierenden Fläche zu sehen, auch wenn man ihnen eine Fixationsmarke herstellt. Man wird doch nicht behaupten wollen, dass solche Beobachter thatsächlich über die Fläche nur hinweggeblickt hätten. Dass so etwas bei mir der Fall gewesen, scheint Wirth allerdings anzunehmen, aber durchaus ohne Grund.

So scheint denn schon die einfachste Lichtwahrnehmung drei verhältnissmäßig selbständige Prozesse mit sich zu führen,

für welche die periphere Wirkung des Reizes nur die Veranlassung ist, den eigentlichen zentralen Erregungsvorgang, und die Prozesse des positiven und negativen Nachbildes. Handelt es sich um einfaches Licht, so tritt als weiterer Prozess der Farbenprozess hinzu. Von den verschiedenen Teilprozessen und Stadien sei dabei abgesehen. Der eigentliche Empfindungsprozess geht dem des positiven Nachbildes voran, der des negativen Nachbildes entsteht während des Empfindungsprozesses, dauert aber erheblich länger. Der Prozess des positiven und negativen Nachbildes besteht nebeneinander, weit über die Dauer des Reizes hinaus. Die eigentümlichen und jetzt mehrfach beschriebenen Erscheinungen der recurrent vision (cf. Hamaker, Ebbingh. Z. f. Ps. u. Ph. d. S. Bd. 21, S. 1) würden dann eine durch die Versuchseinrichtung zur Gleichzeitigkeit gebrachte Projektion dieser verschiedenen Prozesse sein. Man darf aber nicht die Ordnung des Bildes, wie es durch den rotierenden Spiegel auf einer Fläche entworfen wird, in eine einfache Succession auflösen wollen. Nicht um sechs Stadien eines Prozesses, wie Bidwell zählt, handelt es sich bei dieser Erscheinung, sondern eben um jene drei Prozesse; nur dass auf die eigentliche Empfindung folgend nacheinander einmal der zweite, dann wieder der dritte in den Vordergrund tritt und sie auch verschiedentlich mehr und weniger zusammenwirken. Das sekundäre Bild Bosschas, das sogenannte Purkinjesche Nachbild, ist nichts anderes, als eine Kombination des positiven Helligkeitsnachbildes mit dem negativen farbigen Nachbild. Die »abnorme Dunkelheit« Bidwells ist das negative Helligkeitsnachbild. Leicht erklären sich dann die Abweichungen der verschiedenen Beobachter in der Beschreibung des Gesehenen einerseits durch die Möglichkeit, dass die Zeiten des Hervortretens des einen oder anderen der beiden Prozesse verschieden sind, andererseits durch den Einfluss, welchen diese gegenseitig

aufeinander ausüben können in ähnlicher Weise, wie auch beim Wettstreit der Vorstellungen, wenn man beiden Augen verschiedene Reize bietet, ein Einfluss der beiderseitigen Eindrücke zu bemerken ist.

Die psychologischen Thatsachen lassen sich, soviel ich sehe, nur in dieser Weise verstehen. Der Psychologe kann auch gar nichts anderes thun, als zunächst diese Thatsachen aufzusuchen und für sie ein in sich zusammenstimmendes Verständnis zu begründen. Welche Annahme wir von diesem Ausgangspunkte aus über die zu Grunde liegenden physiologischen Prozesse und deren Abhängigkeit vom peripheren Reizvorgang zu machen haben, ist eine andere Frage, welche die Psychologie zunächst den Physiologen überlassen kann. Beide Wissenschaften sind gewiss aufeinander angewiesen. Das Psychische ist physisch bedingt. Infolge davon lässt sich das Psychische nur in der Abstraktion als eine besondere Welt betrachten. Aber auch die Isolierung des Physischen beruht auf einer gleichen Abstraktion, ist nicht die volle Wirklichkeit. Es folgt daraus, dass kein physisches Geschehen als solches in der Art, wie wir es begreifen, schon zugleich ein psychisches ist; eine physiologische Erklärung ist nicht als solche schon eine psychologische und umgekehrt. Die Identitätslehre, auf welcher eine »Psychophysik« im eigentlichsten Sinne des Wortes allein beruhen könnte, erweist sich immer mehr als undurchführbar. Selbst wenn die beiden Erscheinungsreihen des Psychischen und Physischen im Grunde der Dinge identisch wären, bliebe ihr Verhältnis zu einander für uns doch ein irrationales. Mir scheint, dass die Entwicklung unserer psychologischen Wissenschaft dies von Tag zu Tag mehr beweist, dass die Eigenart der Wirklichkeit alles Geistigen immer klarer hervortritt.

9.

Zur Psychologie des Zeitbewusstseins bei continuirlichen Lichtreizen

von

Max Hüttner.

1. Einleitung.

Nachfolgende Untersuchungen hatten ursprünglich den Zweck, die Fragen der Psychologie des Rhythmus zu fördern; es führte jedoch die Behandlung dieser Frage von selbst auf das allgemeine Problem des Zeitbewusstseins zurück, zu dessen Lösung das Folgende einen Beitrag liefern möchte.

Die experimentellen Arbeiten sind im psychologischen Institut der Universität Kiel ausgeführt worden.

Die vorausgeschickte historisch-kritische Übersicht der bisherigen Behandlung dieses Problems verfolgt nicht den Zweck einer vollständigen Litteratur-Übersicht, sondern sucht durch Herausheben der jeweilig leitenden Anschauungen im Entwicklungsgang der Forschung den Standpunkt zu begründen, von welchem aus der Verfasser selbst an die Aufgabe herangetreten ist.

Die ersten experimentellen Untersuchungen über die Psychologie des Zeitbewusstseins stammen von Ernst Mach[1]). Sie

---

1) **Mach, Untersuchungen über den Zeitsinn des Ohres. Sitzungsberichte d. Wien. Akad. Bd. 51, 1865.**

suchten zu entscheiden, ob das von Fechner benannte Webersche Gesetz auch für die Wahrnehmung der Zeit gelte. Da Mach die Zeitempfindung theoretisch als etwas neben den Sinnesempfindungen selbständig Existierendes ansah, bemühte er sich in seiner Versuchsanordnung, die Sinnesempfindungen möglichst auszuschalten, um allein die Zeitempfindung als Objekt der Untersuchung zu Grunde zu legen. Zu dem Zweck stellte er durch zwei Metronome zwei leere Intervalle her, die nach der Methode der minimalen Änderungen untereinander verglichen wurden. Es zeigte sich überall ein zwar schwankendes, aber entschiedenes Ansteigen des Wertes $\frac{\Delta t}{t}$, parallel dem Wert von t, das mit dem Weberschen Gesetz unvereinbar ist. Andere, zahlreichere Versuche, in denen die jeweils verschiedene technische Herstellung der kleinen, mittleren und langen Zeiten als große Fehlerquelle angesehen werden muß, ergaben ein ziemlich abweichendes Resultat: Bei 0,375 lag ein Maximum der Unterschiedsempfindlichkeit, bei Verkürzung wie Verlängerung der Zeiten nahm die U.-E.[1]) ab. Gleich die erste Arbeit wies also ein Nebeneinander von Resultaten auf, die zunächst unvereinbar schienen.

Der Titel des zweiten, von dem Physiologen Vierordt[2]) herrührenden Beitrages giebt sogleich die Perspektive, aus welcher dieser Forscher das Problem betrachtete. Man hat es meines Erachtens nicht genügend hervorgehoben, dass auch für Vierordt, wie für viele seiner Nachfolger, die Theorie der absoluten Zeit als selbstverständliche Voraussetzung galt und die Versuche wie ihre Deutung wesentlich beeinflusste. Für Vierordt giebt es zwei Arten von Sinnesempfindungen, die der ‚Spezial- und die der Generalsinne'.[3]) Letztere sind Raumsinn

1) In Zukunft Abkürzung für »Unterschieds-Empfindlichkeit«.
2) Vierordt, Der Zeitsinn nach Versuchen. Tübingen 1868.
3) a. a. O. pag. 12, 13.

und Zeitsinn, die neben den Spezialsinnen (Gesicht, Gehör etc.) selbständig existieren. Die Empfindungen der Generalsinne »haben nun keineswegs jenes vollständig subjektive Gepräge, wie die der Spezialsinne. Gegenständliches und Empfundenes, resp. Wahrgenommenes sind auf dem Gebiet der Generalsinne wirklich und unmittelbar miteinander vergleichbar, weil sich beide, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, vollkommen oder doch annähernd decken und übereinander legen lassen. Aber auch unsere Zeit- und Raumvorstellungen, weit entfernt, bloße subjektive Kategorien unseres Bewusstseins darzustellen, wie gewisse philosophische Schulen annahmen, stehen mit der Realität der Dinge keineswegs in unauflöslichem Widerspruch. Unsere Zeit- und Raumempfindungen und -Begriffe haben deshalb Realität, nicht etwa in bloß empirischem Sinne, sodass selbst das Subjektive, das bei unseren diesfallsigen Empfindungen ebenfalls mit unterläuft, die objektive Wesenheit des räumlichen und zeitlichen Vorstellungsinhalts keineswegs aufhebt.« — Ein anderer Unterschied zwischen beiden Arten von Sinnen ist der[1]: »die Spezialsinne haben im allgemeinen keine Multipla der Empfindungen, d. h. man kann z. B. nur aussagen, dies Licht erscheint viel stärker als ein anderes, nicht aber dreimal stärker. Gegenteilige Angaben beruhen entschieden auf einer Selbsttäuschung. Im Gegensatz dazu sind die Generalsinne mathematische Sinne; sie beziehen sich auf die Wahrnehmung der Formen, wie die Sinnesreize an uns angebracht werden; die räumlichen und zeitlichen Größenwerte der Sinnesreize fallen sozusagen unmittelbar in unser Bewusstsein, und der Empfindungsinhalt nimmt zu mit zunehmender Größe der zeitlichen und räumlichen Einwirkung des Reizes, alles unschätzbare Vorteile, die uns erlauben, die gehabten Empfindungen der General-

---

1) a. a. O. pag. 14, 15.

sinne alsbald und zwar mit annähernder Richtigkeit zu reproduzieren und mit direkten Maßen zu messen.«

Diese Theorie von den »Generalsinnen« ist der Grund dafür, dass Vierordt die Versuchsanordnung Machs übernahm und »leere« Intervalle zum Vergleich darbot. Die Empfindungen aller anderen Sinne sollten auch hier möglichst ausgeschaltet werden; nur die Grenzen der Intervalle ließen sich nicht anders als durch Empfindungen der Specialsinne, hier des Gehörs, herstellen. Diese Versuchseinrichtung wurde später geradezu traditionell, wobei man kaum noch den theoretischen Grund im Auge behielt, aus dem sie stammte. Die Arbeit Vierordts stellt jedoch die Untersuchung eines ganz anderen als des vorliegenden Problems dar: die Reproduktion einer einzigen gegebenen Zeitstrecke entweder unmittelbar oder nach einer Zwischenzeit, wie sie von Vierordt in allen Versuchen verlangt wurde, kann nicht als Maßmittel der U.-E. der Zeit angesehen werden, da der Beobachter überhaupt nicht zwei Objekte erhält, durch deren Vergleichung er Aufschluss über seine U.-E. geben könnte. Alle nach dieser Methode veranstalteten Versuche müssen auf die Frage des Zeitgedächtnisses, nicht des aktuellen Zeitbewusstseins bezogen werden. Das Gesamtresultat seiner Arbeit wird dahin zusammengefasst: Unsere Zeitempfindungen sind einem konstanten Fehler unterworfen, der sich in sämtlichen Sinnesgebieten ohne Ausnahme geltend macht. Kleine Zeiten empfinden wir durchschnittlich größer, größere dagegen kleiner als sie wirklich sind. Zwischen dem Bereich des positiven und des negativen Fehlers liegt ein Punkt der Indifferenz, d. h. eine Zeitgröße, die wir weder vergrößert noch verkleinert empfinden. Der Punkt der Indifferenz variiert aber in verschiedenen Individuen, sowie bei demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten; seine Lage hängt außerdem von dem betreffenden Sinnesgebiet, der Größe der Zwischenzeit ab, sodass er sich je nach

den vorhandenen Einflüssen zwischen 1,5 und 3,5 sec. bewegen kann.

Bei den durch Kollert, Estel und Mehner[1]) im Leipziger Laboratorium angestellten Versuchen erhielt der Beobachter zwar zwei Vergleichsobjekte, aber auch hier wurden ausschließlich sogenannte ‚leere' Zeiten zu Grunde gelegt. Kollert fand für den größeren Teil seiner Versuche den Indifferenzpunkt bei einer weit kleineren Zeit als Vierordt, nämlich 0,755 sec.

Estel, der zum ersten Mal statt der Metronome den Schallhammer anwandte, konnte dies bestätigen und fügte noch das von ihm sogenannte Periodicitätsgesetz hinzu, nach dem sich auch an den Multiplen des Indifferenzpunktes eine größere Genauigkeit der Schätzung fand. Beide Autoren stimmen dagegen soweit noch mit Vierordt zusammen, als auch sie bei kleinen Zeiten unterhalb des Indifferenzpunktes Überschätzung, bei großen Unterschätzung konstatieren. Mehner modifiziert dies Ergebnis dahin, dass von 5 sec. ab wieder Überschätzung eintrete; das Periodicitätsgesetz Estels findet auch er, nur mit der Abweichung, dass allein bei den ungeraden Vielfachen der Indifferenzzeit relative Minima der Schätzung liegen, bei den geraden dagegen relative Maxima.

Schumann, der nur eine kleine Anzahl von Zeiten untersuchte[2]), fand den konstanten Zeitfehler von 0,6 sec. ab positiv.

Als die beste der Leipziger Arbeiten hat ohne Zweifel diejenige von R. Glass[3]) zu gelten. Sie ist daher auch vielfach in den Gesamtdarstellungen der Psychologie maßgebend gewesen für die Schilderung des Standes des Zeitbewusstseinproblems. Die Versuche wurden nach der Methode der mittleren Fehler an dem Zeitsinnapparat Wundts in der Art an-

---

1) Philos. Stud. Bd. I, 78, II, 37, 546.
2) cf. darüber die Kritik Meumanns in Philos. Stud. Bd. VIII. 456.
3) Philos. Stud. Bd. IV, 423.

gestellt, dass auf die durch zwei Hammerschläge begrenzte Normalzeit ohne jede Pause die Fehlzeit folgte; das Ende der Fehlzeit wurde von Glass selbst als Beobachter durch Anhalten des Uhrwerks bestimmt. Zum Vergleich mit den später folgenden eigenen Schallversuchen setze ich einen Auszug aus den von Glass aufgestellten Tabellen hierher.

t	$F.$	c	Δm	$\frac{\Delta m}{t}$
0,7	0,702	+ 0,002	0,0451	0,0644
0,8	0,882	+ 0,082	0,0553	0,0632
0,9	0,947	+ 0,047	0,0579	0,0643
1,0	1,0375	+ 0,0375	0,0542	0,0542
1,2	1,218	+ 0,018	0,0611	0,0509
1,5	1,5315	+ 0,0315	0,07	0,0467
1,8	1,8245	+ 0,0245	0,0775	0,0431
2,1	2,099	— 0,001	0,0952	0,0453
2,5	2,555	+ 0,055	0,1359	0,0543
2,8	2,758	— 0,042	0,1419	0,0507
3,2	3,076	— 0,124	0,1346	0,0421

Da die Versuche erst bei der Normalzeit 0,7 beginnen, lässt sich nicht entscheiden, ob auch bei dieser oder noch kürzeren Zeiten ein Indifferenzpunkt wie in den früheren Arbeiten sich findet. In dem Endergebnis liegt ein Unterschied gegen die früheren Arbeiten nur darin, dass der Indifferenzpunkt als Grenze der Überschätzung kurzer und Unterschätzung langer Zeiten nach 1,25 sec. verschoben ist, im übrigen war auch hier an seinen Multiplen die U.-E. größer. Als neue Ergebnisse konnten von Glass hinzugefügt werden: 1) Die Zeiten, wo die Schätzung am ungenauesten war, wiesen den Abstand von 1,25 sec. auf und 2) schließt Glass mit Rücksicht auf die annähernde Konstanz der relativen U.-S.[1]) auf die wahrscheinliche Giltigkeit

1) Abkürzung für »Unterschieds-Schwelle«.

des Weberschen Gesetzes; freilich müsse man es mehr als ein Idealgesetz auffassen, das in der Welt der Erscheinungen nicht rein zu Tage treten könne. Bei der Beurteilung dieser Untersuchung hat man im Auge zu behalten, dass gegenüber der auch hier angewandten Reproduktionsmethode das schon gegen Vierordt erhobene Bedenken geltend zu machen ist. (cf. pag. 8.) Einen weiteren Einwand gegen die Vergleichung ‚leerer‘ Zeiten, der zugleich auf alle bisherigen Arbeiten auszudehnen ist, führt Glass selbst an. Wenn er nämlich auch während beider Intervalle die Augen schloß, um möglichste Konzentration der Aufmerksamkeit zu erzielen, so empfand er selbst, dass dennoch ein störendes plötzliches Auftauchen von Vorstellungen unvermeidlich sei, hervorgerufen, wie er meint, durch das Gefühl der Leere. Diese Beobachtung im Verein mit der Differenz der Resultate dieser letzten Arbeiten weist darauf hin, dass die Versuchsbedingungen bei dem Vergleich ‚leerer‘ Zeiten nicht genügend konstant sind, sondern die Möglichkeit verschiedener subjektiver Auffassung zulassen. Das Auftreten des Indifferenzpunktes, sowie die größere Schätzungsfeinheit an seinen Multiplen kann darin begründet sein, dass man unwillkürlich in den unbestimmten Bewusstseinsinhalt eine subjektive Periodisierung in Anlehnung an Spannungsempfindungen oder einen anderen subjektiv gewählten Maßstab wie Takt und Rhythmus einführt und bei langen Zeiten mehrere dieser Perioden aneinanderreiht. Die Abweichungen in der Lage des Indifferenzpunktes machen diese Annahme noch wahrscheinlicher.

Eine Wendung in der Behandlung des Problems trat dadurch ein, dass man jetzt die bei solchen ‚leeren‘ Zeiten beobachteten psychischen Phänomen zu analysieren und sie als spezifische Träger der Zeitanschauung nachzuweisen suchte. Die Ergebnisse der hier einschlagenden Arbeiten, darunter haupt-

sächlich die von Münsterberg[1]), sind auf Grund experimenteller Mängel oder unrichtiger Interpretation mehr oder weniger als unhaltbar erwiesen.[2]) Eine klare Analyse der psychischen Vorgänge ist außerdem nirgends gegeben, sodass Münsterberg im Grunde nicht über den Versuch einer mehr psychologischen Betrachtungsweise des Problems hinausgekommen ist.

An dieser Stelle ist auch die Arbeit des Dänen Thorkelson[3]) zu erwähnen.

Dieser ließ Zeitintervalle vergleichen, die mit dem Geräusch des Wagnerschen Hammers ‚ausgefüllt' waren. Psychologisch darf man in jedem ‚ausgefüllten' Intervall eine einheitliche akustische Empfindung sehen, da die Zahl der Unterbrechungen des Hammergeräusches ziemlich die Verschmelzungsgrenze der Empfindungen erreicht hat. Jedenfalls findet die Ähnlichkeit der von mir aus psychologischen Erwägungen eingeschlagenen Methode mit der hier befolgten in den Ergebnissen eine Parallele, denn Thorkelson konstatiert auch für Tonzeiten die Giltigkeit des Weberschen Gesetzes für den Fall, dass nicht andere Umstände ihm entgegenwirken. Auf jeder der drei von ihm untersuchten Übungsstufen fand sich die relative U.-S. annähernd constant; auf der ersten betrug ihre Größe durchschnittlich $^1/_{10}$, auf der zweiten $^1/_{14}$ bis $^1/_{15}$, auf der dritten $^1/_{19}$ bis $^1/_{20}$, der kleinste überhaupt erreichte Wert war $^1/_{22}$. Eine zweite völlige Parallele liegt darin, dass auch hier wie bei den später darzustellenden Lichtzeiten, die obere und untere U.-S. fast niemals gleich sind. Unwahrscheinlich ist aber, dass für Tonzeiten im Gegensatz zu Lichtzeiten das Webersche Gesetz bis zu Zeiten von 12 sec. Länge giltig sein soll; die Fehler der Apparate,

1) Münsterberg, Beiträge zur experimentellen Psychologie.
2) cf. dazu die Kritik Meumanns. Philos. Stud. VIII. 441 ff.
3) Thorkelson, Undersøgelse af tidssansen. Christiania 1885.

der Berechnung[1]), vor allem die Vermischung von Schätzung unmittelbar und mittelbar aufgefasster Zeiten sind dafür heranzuziehen, dass die Übereinstimmung mit den folgenden Lichtuntersuchungen nicht noch völliger ist.

In ein ganz neues Stadium trat die Behandlung des Problems mit den Untersuchungen von E. Meumann und F. Schumann. Wiesen schon die früheren Arbeiten darauf hin, dass eine Aufklärung über das Zeitbewusstsein nur durch eine genaue Beachtung der bei der Schätzung vorhandenen und mitwirkenden Vorstellungen zu erhalten sei, so hat Meumann das Verdienst, durch seine Untersuchung über den Einfluss der intervallbegrenzenden Empfindungen bei ‚leeren' Zeiten[2]) zuerst die richtige Fragestellung für das Zeitproblem gewonnen zu haben. Schumann hat jetzt in den Nachprüfungen dieser Experimente[3]) die rhythmische Auffassung der Grenzreize bestätigt gefunden, mit einigen Ausnahmen zwar, die unten ihre Erklärung erfahren. Damit ist der langen und unfruchtbaren Polemik zwischen beiden Forschern ein Ziel gesetzt, zumal da Schumann auch die Bedeutung der früher so betonten Einstellung der Aufmerksamkeit wesentlich eingeschränkt hat. Beide befinden sich jetzt auf dem gleichen Wege, in dem Bemühen, den Einfluss festzustellen, welchen die Empfindungen auf das Zeitbewusstsein ausüben.

Alle einzelnen von Meumann hier gefundenen Thatsachen darf man freilich nicht als unbedingt sicher ansehen. Dies beweist eine Zusammenstellung der Meumannschen Originalversuche mit den von Schumann und auch von mir vorgenommenen Kontrollen. Die Versuche mit kontinuierlichen Reihen

1) cf. dazu die Kritik Meumanns. Philos. Stud. Bd. VIII, 432 ff.
2) Philos. Stud. Bd. IX, 264 ff. 1893.
3) Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. Bd. XVIII. 1898.

aufeinanderfolgender Hammerschläge fand ich sämtlich bestätigt: 1) Eine Folge von intensiven Schlägen wird im Vergleich zu einer objektiv gleich schnellen, jedoch aus schwächeren Schlägen bestehenden für schneller gehalten. 2) Nimmt in einer Reihe die Intensität der Schläge allmählich zu, so erscheint die Reihe trotz der konstant gehaltenen Zeitdistanz der Schläge beschleunigt. 3) Wird in eine Reihe schwacher Schläge plötzlich ein starker Schlag eingeschaltet, so erscheint das dem Schlag vorhergehende Intervall verkürzt, das nachfolgende verlängert. — Zieht man von den Kontrollen Schumanns allein die Versuche mit Hammerschlägen in Betracht, wie es mit Rücksicht auf die veränderten Verhältnisse bei Telephonknallen geboten ist, so neigt die Mehrzahl seiner Beobachter ebenfalls zu diesen Resultaten hin.

Bei der Vergleichung zweier Intervalle mit Grenzreizen verschiedener Intensität erhielt ich im ersten Versuch (Schema 1 2 — 3́ 4́) fast dieselben Abweichungen wie Schumann. Eine irgendwie deutliche Tendenz zu Unter- oder Überschätzung war überhaupt nicht merkbar, das Gleicheitsurteil war vorherrschend wie auch im 3. Versuch (1́ 2́ 3). Sehr auseinander gingen die Aussagen meiner Beobachter über den 5. Versuch (1́ 2 3́). Das Urteil »erste Zeit länger«, das nach Meumann zu erwarten war, kam überhaupt nicht vor, die Mehrzahl entschied sich für Gleichheit, zwei Herren waren sogar für das Urteil »erste Zeit kürzer«. Mit dem objektiven Betonungsrhythmus des 6. Versuchs (1 2́ 3) ist nach Meumanns Theorie sowohl der Zeitrhythmus 1 — 2 3, wie 1 2 — 3 vereinbar, es könnte also das erste Intervall bald länger, bald kürzer sein. Diese Empfindung glaubte von meinen Beobachtern Hr. Prof. Martius auch zu haben, falls es überhaupt zu einem sicheren Urteil kam; von den übrigen Beobachtern hielten einige die erste, andere die zweite Zeit für länger. Der einzige Beobachter Meumanns

zeigte stets subjektive Vergrößerung des ersten Intervalls, die **Meumann** aus der Entstehung einer sekundären oder Nebenhebung bei 1 erklärt. Dass aber die Entstehung dieser Nebenhebung gerade an dieser Stelle mit den **objektiven** Versuchsbedingungen notwendig gegeben sei und so der Eindruck der zeitlichen Veränderung eindeutig bestimmt werde, habe ich aus meinen Kontrollen nicht entnehmen können. Ebensowenig kann ich die konstante Überschätzung der ersten Zeit im 8. Versuch (1 2 $\acute{3}$) bestätigen. In Übereinstimmung mit **Schumann**, der aber nur Telephonknalle benutzte, zeigen meine Kontrollen alle drei möglichen Urteile. Für die Mehrzahl lag Gleichheit am nächsten, ebenso gut konnte man sich aber für »2. Intervall länger« entscheiden, sodass z. B. eine Vergrößerung der N.-Z.[1] 0,3 um 75 σ noch als gleich empfunden wurde. Die Unterschätzung des zweiten Intervalls fand nur bei einem nicht sehr geübten Beobachter eine Stütze.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass alle diese Abweichungen von den Originalversuchen **Meumanns** auf Rechnung der stets neben der objektiven einhergehenden **subjektiven** Betonung zu setzen sind. Diese letztere ergab sich als ein so selbständiger Faktor, dass alle Resultate als ein Produkt der Wirkung beider Arten von Rhythmisierung betrachtet werden müssen. Nur wo eine völlige Parallelität zwischen ihnen herrschte, derart, dass die objektive Rhythmisierung allein eine einzige subjektive Rhythmisierung der gleichen Form aufkommen ließ, diese aber mit um so größerer Eindeutigkeit und Konstanz, fand sich eine Übereinstimmung meiner Kontrollen mit **Meumanns** Originalversuchen. So in den Versuchen II: $\acute{1}\ \acute{2}$ — 3 4; IV: 1 $\acute{2}\ \acute{3}$; VII: $\acute{1}$ 2 3; und $\acute{1}$ 2 — 3 4. In allen anderen Fällen lag eine Interferenz beider Betonungen vor. Behufs Isolierung

1) N.-Z. = Normal-, V.-Z. = Vergleichszeit.

dieser beiden konstitutierenden Faktoren wird zunächst bei intensitätsgleichen Grenzreizen die Frage nach der subjektiven Rhythmisierung untersucht werden müssen. Einiges Material hierzu findet sich bereits bei Schumann[1]), sowie im Anhang dieser Arbeit.

Die Bedeutung dieser ersten Experimental-Untersuchung Meumanns ist daher mehr indirekt. Denn solange die ‚leeren' Zeiten Objekt der Vergleichung blieben und nicht die Empfindungen selbst als Vergleichsobjekt genommen wurden, konnte sich ihr Einfluss nur indirekt äußern. Diese indirekte Einfügung des neuen Faktors in die Versuchsbedingungen hat aber den Nachteil, dass die Zeitschätzung insofern bedeutend erschwert wird, als die eigentlichen Vergleichsobjekte, die ‚leeren' Zeiten, überhaupt nur noch mittelbar aufgefasst werden können. Auf Grund des unmittelbaren psychischen Eindrucks wird die Aufmerksamkeit natürlich zunächst auf den Unterschied der Grenzreize gezogen. Dieser Unterschied bedingt ihre jeweils verschiedene subjektive Gruppierung, und erst an der Hand dieser Gruppierung geschieht die zeitliche Interpretation der zwischenliegenden Intervalle. Die Unbrauchbarkeit dieser Versuchsanordnung für Zeitschätzungsexperimente geht auch aus den Aussagen meiner Versuchspersonen hervor. Bei dem Bemühen, die Aufmerksamkeit auf die zeitlichen Verhältnisse zu richten, wird die Intensitätsdifferenz der Grenzreize einfach als Störung empfunden, eine Bestätigung der Bemerkung Schumanns[2]). Die Zeitschätzung ist hier eigentlich nur indirektes Hilfsmittel zur Untersuchung der Hauptfrage nach der subjektiven Rhythmisierung von momentanen Schallreizen verschiedener Intensität.

Schon durch diese erste experimentelle Arbeit Meumanns

1) cf. Zeitschr. f. Psych. Bd. XVIII, 26 ff.

2) a. a. O. pag. 45.

musste sich die Frage nach dem direkten Einfluss der Empfindungen auf die Zeitschätzung aufdrängen; in noch höherem Grade wurde man in dieser Fragestellung bestärkt, wenn man die Ergebnisse seiner zweiten Studie über »Zeitausfüllung« [1]) daraufhin schärfer ansah, was hier in jedem der einzelnen Fälle als psychischer Thatbestand vorlag. Die größte U.-E. des Zeitbewusstseins war in dem Falle zu konstatieren, wo das eine Vergleichsobjekt in einer auf kontinuierlicher Reizung beruhenden Empfindung bestand. Es ist dies die Vergleichung einer durch Stimmgabelton ‚ausgefüllten' Zeit mit einer ‚leeren' [2]). Aus dieser einen Thatsache lassen sich dann ohne weiteres die Resultate aller übrigen Versuche ableiten: Im Verhältnis zu der Anzahl der mit einer ‚leeren' Zeit verglichenen Empfindungen, wie sie die Ausfüllung mit mehreren Schall- oder Lichtreizen darstellt, wächst die Ungenauigkeit der Schätzung und verschiebt sich die Indifferenzzone.

Dass bei den Versuchen mit Einführung eines objektiven Rhythmus die Feinheit der Schätzung zunimmt, erklärt sich daraus, dass die Aufmerksamkeit an diesem objektiven Rhythmus einen Stützpunkt findet und nicht mehr nach den verschiedensten Richtungen gezogen wird. Bei der Vergleichung dieser Komplexe von Empfindungen wirken eben noch andere Faktoren mit, vor allem die subjektive Rhythmisierung der Reize. Über die Art und Größe ihres Einflusses auf die Schätzung wird aber erst dann etwas auszumachen sein, wenn die Bedeutung der Teilelemente feststeht.

Auf diese Notwendigkeit der Klarlegung der primären konstituierenden Faktoren bei der Zeitschätzung drängte die Art der Ergebnisse Meumanns unmittelbar hin. Dazu war es auf Grund der Erfahrungen aller bisherigen Forscher geboten, quali-

1) Philos. Stud. Bd. XII, 127 ff. 1896.

2) 5. Versuchsgruppe Meumanns.

tativ zwei möglichst gleichartige und möglichst einfache Bewusstseinsinhalte als Vergleichsobjekte zu wählen. Im Anschluss an den streng psychologischen Standpunkt Wundts, nach dem die Zeitempfindung eine allen Bewusstseinsinhalten gleichmäßig zukommende Eigenschaft ist, schien diesen Anforderungen diejenige Versuchsanordnung am ehesten zu genügen, wobei zwei auf kontinuierlicher Reizung beruhende Empfindungen als Vergleichsobjekte dargeboten wurden. Dabei sind mit Rücksicht auf den Umfang des Bewusstseins zwei Fälle von Zeitvergleichung zu unterscheiden: 1) Vergleichung von unmittelbar und 2) von mittelbar aufgefassten Empfindungen. Da im letzten Falle infolge der langdauernden Reizung andere psychische Vorgänge hinzutreten und die Auffassung beeinflussen, hat sich die Untersuchung zunächst auf den ersten, einfacheren Fall zu beschränken. Wundt stellt für die Ergebnisse der bisherigen Untersuchung ‚leerer' Zeiten drei Fälle von Zeitvergleichung auf in Analogie zu den drei folgenden verschiedenen Auffassungsmöglichkeiten von Zeitstrecken[1]): 1) Beide Zeitstrecken bilden zusammen Teile eines einzigen Bewusstseinsinhaltes. 2) Jede Zeit ist hinreichend kurz, um noch als Ganzes aufgefasst werden zu können. 3) Schon die erste Zeit kann nicht mehr im Bewusstsein zu einem Ganzen verbunden werden. — Ganz abgesehen davon, dass man die Vergleichung von Zeitstrecken nicht identifizieren kann mit ihrer Auffassung, möchte ich den von Wundt an erster Stelle aufgeführten Fall lieber in die Vergleichung mittelbar aufgefasster Zeiten, also den hier zu zweit genannten Fall, einbeziehen. Denn schon die Ergebnisse Meumanns bei Vergleichung leerer Zeiten mit akustischen Grenzreizen verschiedener Intensität zeigen deutlich, dass bei den kleinsten Intervallen von 0,5 ab eine Auffassung der Zeit-

1) cf. Wundt, Grundzüge der physiol. Psychologie⁴ II, 416.

strecken nicht mehr möglich ist, sondern dass nur noch eine einheitliche Perception der Grenzreize besteht. Bei intensitätsgleichen Grenzreizen liegt derselbe psychische Thatbestand vor, wie im dritten Teil dieser Arbeit nachzuweisen versucht ist. Die Auffassung dieser kleinsten Zeiten ist also ebenso wie die der längsten nur in Anlehnung an vorherrschende sekundäre Empfindungsmomente, also mittelbar, möglich. Diese beiden Fälle, die daher in einen einzigen zusammenfallen, stellen sich so als prinzipiell verschieden der Auffassung mittellanger Zeiten gegenüber, die unmittelbar erfolgt. — Der zweite und dritte Fall Wundts entsprechen dann von selbst den hier aufgestellten beiden Fällen.

So wiesen nicht nur psychologische Erwägungen, sondern auch die Art der Ergebnisse aller bisherigen Forscher auf die Notwendigkeit hin, durch kontinuierliche Reizung erzeugte Empfindungen als Vergleichsobjekte zu Grunde zu legen. Diese Versuchsanordnung kann außerdem allein als die vollkommene schon von Mach und Vierordt angestrebte Übertragung der von Fechner zur Untersuchung der Empfindungsintensitäten benutzten Methode auf extensive Größen gelten. Die Erwartung, auf diesem Wege neue Aufschlüsse über das Zeitbewusstsein zu erhalten, wurde durch das Resultat der folgenden an Lichtempfindungen durchgeführten Untersuchung bestätigt.

---

2. Versuche mit Lichtzeiten.

Die Versuche wurden mit dem S. 302 ff. beschriebenen Lichtunterbrechungs-Apparat angestellt.

Für die Versuchsanordnung waren folgende Grundsätze maßgebend. In allen Versuchen wurde nur mit dem linken Auge beobachtet, da zwei Beobachter auf dem rechten nicht

normal waren. Zur Herstellung der Lichtzeiten diente von den beiden linksseitigen Scheiben die hintere, welche unmittelbar vor der Blende rotierte. (In Fig. 6 und 7 S. 303/4 die Scheibe *B*). Die vordere war herausgenommen. Um eine rasche und bequeme Einstellung und Variirung der Lichtzeiten während der Versuche zu erzielen, ließ ich eine Scheibe anfertigen, die aus mehreren auf der Axe gegen einander verschiebbaren Aluminium-Sektoren mit schwarzem glanzlosen Anstrich zusammengesetzt war. Durch zwei Messingdeckblätter, die mittelst einer Schraubenmutter fest gegeneinander gepresst wurden, ließ sich die Stellung der Sektoren fixieren, sobald die nötigen Ausschnitte in Graden hergestellt waren. Eine auf dem äußersten Rande der Deckblätter angebrachte Skala ermöglichte eine Einstellung bis auf halbe und Viertelgrade.

Für die Zeitmessung wurde die Kontaktscheibe *S* (Fig. 6) benutzt, deren leitende Fläche 100° betrug. Bei der Fixierung der Umdrehungszeit für diese 100° waren vier Punkte maßgebend: 1) Um eine schnelle und genaue Kontrolle am Chronoskop während der Beobachtung zu ermöglichen, wurden möglichst bequeme Zahlen, wie 1000, 1500, 2000 σ etc. gewählt. 2) Zwischen jeder Erneuerung des Einzelversuchs sollte mindestens die gleiche Zeit liegen wie die Summe N.-Z. + Z.-Z. + V.-Z. betrug. 3) Zu kleine Ausschnitte unter 20° wurden vermieden, um die Einstellungsfehler nicht zu vermehren. 4) Die Auswechselung der Zahnräder, deren Einsetzen und Justierung zeitraubend war, wurde auf den Fall der langsamen N.-Z. (1 sec. und länger) beschränkt und außerhalb der Versuchsstunden vorgenommen. — War derart für jede N.-Z. die Umdrehungszeit für 100° festgelegt, so wurden die in Kreisgraden berechneten Werte der Normal-, Zwischen- und Vergleichszeit in Tabellen registriert, sodass ein rasches Einstellen und Variiren möglich war.

Die durchschnittliche Dauer einer Einzelbeobachtung betrug bei jeder Versuchsperson ca. 3 bis 4 Minuten. — Wiederholte Kontrollen des Chronoskops mittelst des großen Kontrolhammers ergaben bei einer Fallzeit von durchschnittlich 158 σ eine mittlere Variation von 0,3 bis 0,5 σ. Die Zeitmessung konnte daher als genügend gesichert gelten.

Die bei den Versuchen befolgte Methode lehnt sich im Wesentlichen an die sogenannte Methode der minimalen Änderungen an. Diese letztere mit allen Vorsichtsmaßregeln streng durchzuführen, wie es während der ersten Hälfte der Beobachtungen versucht wurde, erwies sich auf die Dauer als nicht durchführbar. Sämtliche Beobachter fühlten sich, sobald sie sich durch Vorversuche an die Versuchsbedingungen gewöhnt hatten, außer stande, die Beobachtung über $^3/_4$ Stunden auszudehnen und empfanden selbst dann Ermüdung und bisweilen Kopfschmerz. Hinzu kommt noch, dass die Kopfhaltung des Beobachters sich während der Beobachtung nicht verändern durfte, da sich andernfalls sofort das Lichtbild nach Form und Helligkeit verschob. Die ganz kurzen Reize wurden nach längerem Fixieren von manchem Beobachter geradezu als »Stiche« bezeichnet. Es wurde daher das auch von Meumann benutzte Verfahren eingeschlagen, die Bestimmung der sogenannten Merklichkeitswerte: In jeder Versuchsreihe ging ich bis zu einer Größe hinauf oder hinunter, bei welcher der Beobachter ein »deutlich länger« oder »deutlich kürzer« als Urteil abgab. Aus diesem Wert und dem ihm vorausgehenden, bisweilen auch aus zwei vorausgehenden wurde das arithmetische Mittel berechnet und als t_o resp. t_u in die unten folgenden Tabellen eingestellt.

Im Unterschied zu Meumann ging ich dabei jedoch stets von der objektiven Gleichheit aus und nahm von hieraus nacheinander in derselben Richtung unwissentliche Veränderungen vor.

Zur Eliminierung des Einflusses der Zeitlage schien mir das schon von Meumann vorgeschlagene Mittel am geeignetsten. Überall war der zweite Lichtreiz Objekt der Beurteilung, eine objektive Veränderung wurde jedoch an beiden Reizen vorgenommen, sodass einmal die konstant gehaltene Zeit an erster, das andere Mal an zweiter Stelle lag. Von den folgenden Tabellen beziehen sich I bis III auf die Variirung des zweiten Lichtes; Tab. IV bis VI auf die des ersten. Tab. VII bringt die aus beiden Zeitlagen für alle drei Beobachter berechneten arithmetischen Mittel der relativen U.-S. — Durch Probieren erwies sich eine Zwischenzeit von 1,25 sec. mit Rücksicht auf die Langsamkeit des An- und Abklingens der Lichtempfindungen für alle Beobachter als am geeignetsten.

Von den Herren, die sich mir als Beobachter zur Verfügung stellten, repräsentieren Hr. Prof. Martius (M) wie Hr. Dr. Krueger (K) einen maximalen, Hr. Dr. Feitel (F) einen mittleren Grad von Übung.

Tabelle I.

Zweites Licht verändert. Beob. *M.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_o - \Delta t_u$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,113	0,097	0,013	0,003	0,008	+ 0,01	0,08
0,2	0,24	0,18	0,04	0,02	0,03	+ 0,02	0,15
0,3	0,362	0,262	0,062	0,038	0,05	+ 0,024	0,167
0,4	0,47	0,337	0,07	0,063	0,066	+ 0,007	0,165
0,5	0,587	0,425	0,087	0,075	0,081	+ 0,012	0,162
0,6	0,687	0,55	0,087	0,05	0,068	+ 0,037	0,113
0,7	0,8	0,65	0,1	0,05	0,075	+ 0,05	0,107
0,8	0,925	0,75	0,125	0,05	0,065	+ 0,075	0,081
0,9	1,0	0,85	0,1	0,05	0,075	+ 0,05	0,083
1,0	1,05	0,91	0,05	0,09	0,07	— 0,04	0,07
1,5	1,57	1,3	0,07	0,2	0,135	— 0,13	0,09
2,0	2,2	1,77	0,2	0,23	0,215	— 0,03	0,107
2,5	2,8	2,225	0,3	0,275	0,288	+0,025	0,115
3,0	3,45	2,7	0,45	0,3	0,375	+ 0,15	0,125

Tabelle II.

Zweites Licht verändert. Beob. *K.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_o - \Delta t_u$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,12	0,097	0,02	0,003	0,012	+ 0,017	0,12
0,2	0,23	0,18	0,03	0,02	0,025	+ 0,01	0,125
0,3	0,387	0,262	0,087	0,038	0,062	+ 0,049	0,207
0,4	0,44	0,38	0,04	0,02	0,03	+ 0,02	0.075
0,5	0,587	0,5	0,087	0,0	0,044	+ 0,087	0,088
0,6	0,65	0,588	0,05	0,012	0,031	+ 0,038	0,051
0,7	0,8	0,675	0,1	0,025	0,062	+ 0,075	0,089
0,8	0,9	0,75	0,1	0,05	0,075	+ 0,05	0,094
0,9	0,975	0,825	0,075	0,075	0,075	0,0	0,083
1,0	1,1	0,925	0,1	0,075	0,088	+ 0,025	0,088
1,5	1,575	1,4	0,075	0,1	0,088	— 0,025	0,059
2,0	2,175	1,85	0,175	0,15	0,163	+ 0,025	0,082
2,5	2,75	2,25	0,25	0,25	0,25	0,0	0,1
3,0	3,23	2,65	0,23	0,35	0,29	— 0,12	0,097

Tabelle III.

Zweites Licht verändert. Beob. *F.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_o - \Delta t_u$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,117	0,087	0,017	0,013	0,015	+ 0,004	0,15
0,2	0,243	0,185	0,043	0,015	0,029	+ 0,028	0,145
0,3	0,4	0,237	0,1	0,038	0,069	+ 0,062	0,23
0,4	0,5	0,337	0,1	0,063	0,081	+ 0,037	0,202
0,5	0,6	0,437	0,1	0,063	0,081	+ 0,037	0,16
0,6	0,7	0,525	0,1	0,075	0,088	+ 0,025	0,147
0,7	0,8	0,65	0,1	0,05	0,075	+ 0,05	0,107
0,8	0,917	0,75	0,117	0,05	0,084	+ 0,067	0,105
0,9	1,0	0,82	0,1	0,08	0,09	+ 0,02	0,1
1,0	1,1	0,95	0,1	0,05	0,075	+ 0,05	0,075
1,5	1,6	1,3	0,1	0,2	0,15	— 0,1	0,1
2,0	2,1	1,75	0,1	0,25	0,175	— 0,15	0,088
2,5	2,9	2,25	0,4	0,25	0,325	+ 0,15	0,13
3,0	4,0	2,75	1,0	0,25	0,625	+ 0,75	0,208

Tabelle IV.

Erstes Licht verändert. Beob. *M.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_u - \Delta t_o$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,125	0,063	0,025	0,037	0,031	+ 0,012	0,31
0,2	0,22	0,15	0,02	0,05	0,035	+ 0,03	0,175
0,3	0,332	0,237	0,032	0,063	0,048	+ 0,031	0,16
0,4	0,462	0,337	0,062	0,063	0,063	+ 0,001	0,151
0,5	0,55	0,425	0,05	0,075	0,063	+ 0,025	0,126
0,6	0,675	0,5	0,075	0,1	0,088	+ 0,025	0,147
0,7	0,775	0,575	0,075	0,125	0,1	+ 0,05	0,143
0,8	0,875	0,725	0,075	0,075	0,075	0,0	0,094
0,9	0,95	0,8	0,05	0,1	0,075	+ 0,05	0,083
1,0	1,075	0,872	0,075	0,128	0,102	+ 0,053	0,102
1,5	1,65	1,35	0,15	0,15	0,15	0,0	0,1
2,0	2,3	1,8	0,3	0,2	0,25	— 0,1	0,13
2,5	3,025	2,25	0,525	0,25	0,387	— 0,275	0,155
3,0	3,6	2,75	0,6	0,25	0,425	— 0,35	0,142

Tabelle V.

Erstes Licht verändert. Beob. *K.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_u - \Delta t_o$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,1	0,07	0,0	0,03	0,015	+ 0,03	0,15
0,2	0,2	0,17	0,0	0,03	0,015	+ 0,03	0,075
0,3	0,312	0,26	0,012	0,04	0,026	+ 0,028	0,087
0,4	0,4	0,3	0,0	0,1	0,05	+ 0,1	0,125
0,5	0,475	0,425	— 0,025	0,075	0,05	+ 0,1	0,1
0,6	0,65	0,55	0,05	0,05	0,05	0,0	0,083
0,7	0,75	0,575	0,05	0,125	0,087	+ 0,075	0,124
0,8	0,85	0,68	0,05	0,12	0,085	+ 0,07	0,106
0,9	0,95	0,775	0,05	0,125	0,087	+ 0,075	0,097
1,0	1,05	0,87	0,05	0,13	0,09	+ 0,08	0,09
1,5	1,525	1,3	0,025	0,2	0,113	+ 0,175	0,075
2,0	2,15	1,725	0,15	0,275	0,213	+ 0,125	0,107
2,5	2,9	2,3	0,4	0,2	0,3	— 0,2	0,12
3,0	3,45	2,8	0,45	0,2	0,325	— 0,25	0,108

Tabelle VI.

Erstes Licht verändert. Beob. *F.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_u - \Delta t_o$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,113	0,077	0,013	0.023	0,018	+ 0,01	0,18
0,2	0,25	0,17	0,05	0,03	0,04	— 0,02	0,2
0,3	0,4	0,25	0,1	0,05	0,075	— 0,05	0,25
0,4	0,462	0,337	0,062	0,063	0,063	+ 0,001	0,156
0,5	0,6	0,412	0,1	0,088	0,094	— 0,012	0,188
0,6	0,7	0,5	0,1	0,1	0,1	0,0	0,158
0,7	0,8	0,575	0,1	0,125	0,112	+ 0,025	0,16
0,8	0,9	0,675	0,1	0,125	0,112	+ 0,025	0,14
0,9	1,1	0,77	0,11	0,13	0,12	+ 0,02	0,134
1,0	1,08	0,88	0,08	0,12	0,1	+ 0,04	0,1
1,5	1,625	1,3	0,125	0,2	0,162	+ 0,075	0,108
2,0	2,1	1,7	0,1	0,3	0,2	+ 0,2	0,1
2,5	3,0	2,3	0,5	0,2	0,35	— 0,3	0,14
3,0	3,6	2,7	0,6	0,3	0,45	— 0,3	0,15

Tabelle VII.

Mittlere Werte der $\frac{\Delta tm}{t}$ aus beiden Zeitlagen.

t	Beob. *M.*	Beob. *K.*	Beob. *F.*
0,1	0,195	0,135	0,165
0,2	0,162	0,1	0,172
0,3	0,183	0,147	0,24
0,4	0,158	0,1	0,179
0,5	0,144	0,094	0,174
0,6	0,13	0,067	0,152
0,7	0,125	0,106	0,133
0,8	0,087	0,1	0,122
0,9	0,083	0,09	0,117
1,0	0,086	0,089	0,087
1,5	0,095	0,067	0,104
2,0	0,118	0.094	0,094
2,5	0,135	0,11	0,135
3,0	0,133	0,102	0,179

Psychologische Analyse: Ein Blick auf den Gang der relativen U.-S. zeigt Ergebnisse, die von denen allen früheren Untersuchungen erheblich abweichen. Weder kann, wenigstens so ohne weiteres, von einer Konstanz der relativen U.-S. die Rede sein, wie sie das Webersche Gesetz verlangt, noch viel weniger aber von dem Auftreten eines Indifferenzpunktes oder der Giltigkeit eines Periodicitätsgesetzes. Die folgenden Kurven stellen den Gang der relativen U.-S. für jeden Beobachter dar: Fig. 1 bei Variirung des zweiten, Fig. 2 bei der des ersten Lichtes; Fig. 3 bringt die mittleren Werte aus beiden Zeitlagen. Die

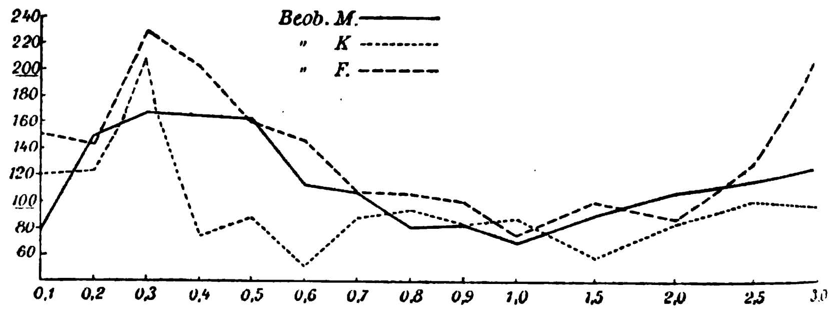


Fig. 1.

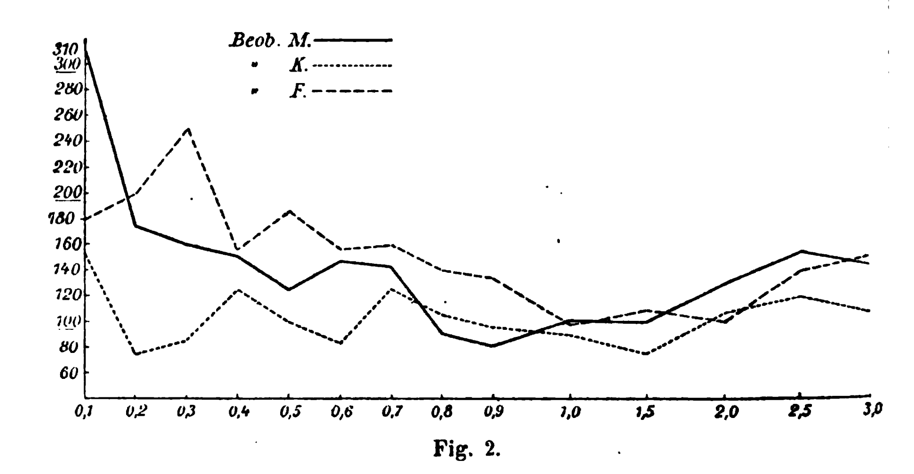


Fig. 2.

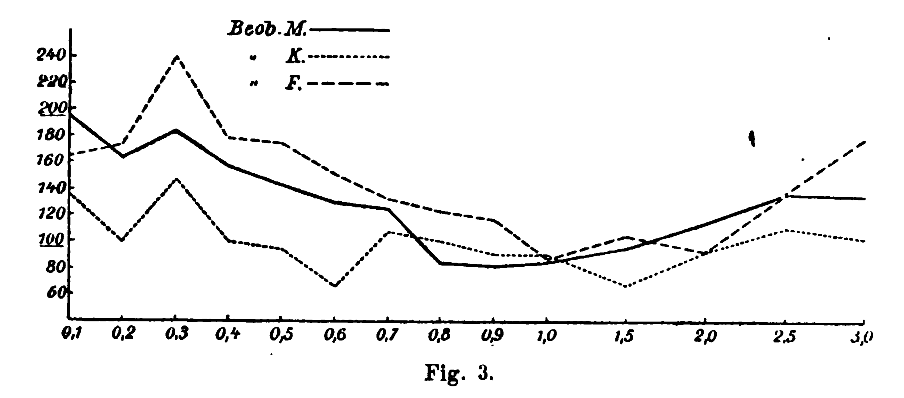


Fig. 3.

untersuchten Zeiten sind auf der Abscisse abgetragen, die dazu gehörigen Ordinaten repräsentieren den Wert ihrer rel. U.-S.

Von kleinen Abweichungen abgesehen, die später ihre Erklärung finden, beginnen alle Kurven mit den relativ größten und größeren Werten der U.-S., fallen dann zu kleineren Zahlen ab, um bei den längeren Zeiten wieder anzusteigen. Über 3,0 sec. hinaus war eine unmittelbare Auffassung nicht mehr möglich. Die Feinheit der Schätzung ist also in der mittleren Lage des untersuchten Gebietes am größten. Diese Lichtzeiten von ca 0,5 bis 1,5 sec. können als Normalfall angesehen und für das Webersche Gesetz in Anspruch genommen werden, weil hier die Bedingungen der Vergleichung am günstigsten sind. Bei den kürzeren Zeiten von 0,5 bis 0,1 ändern sich die Empfindungsthatsachen, bei den längeren über 1,5 die Aufmerksamkeitsvorgänge derart, daß hier von der Giltigkeit des Weberschen Gesetzes nicht mehr die Rede sein kann.

1. Mittlere Zeiten.

Die relative Leichtigkeit und Genauigkeit der Schätzung innerhalb der mittleren Zone wird dadurch verständlich, daß An- und Abklingen der einzelnen Reize kaum zur Geltung

kommt. Beide Reize stehen als volle, runde Scheiben vor dem Auge. Je mehr sich die Dauer einer Lichtempfindung derjenigen Zeitgröße nähert, die dem Apperceptionswechsel am günstigsten ist und auch bei Reaktionen als am geeignetsten für die Spannung der Aufmerksamkeit gefunden wurde, um so feiner wird die Zeitempfindung. Für die Beobachter M und F liegt der Punkt der genauesten Schätzung bei 1,0 sec. Die Kurven dieser beiden Beobachter zeigen außerdem in dieser Zone einen auffallend übereinstimmenden Gang, nur liegen bei F. die Werte der U.-S. stets etwas höher, was auf die geringere Übung zu setzen ist. Fehlurteile unterhalb der Schwelle sind in dieser Zone sehr selten. Als wesentlicher Vorteil des Vergleichens von kontinuierlichen Empfindungen erwies es sich, dass diese feine Schätzung ohne jede Hilfe von mittelbaren Kriterien, wie Erwartung oder Überraschung zu stande kam. Diese nach Schumann unvermeidlichen Stützen des feineren Zeiturteils bei ‚leeren' Zeiten treten hier erst im Gebiet der längeren Zeiten von 2,0 sec. an auf.

Die Abweichungen in den Kurven des Beobachters K. sind auf individuelle Eigentümlichkeiten zurückzuführen. In alle untersuchten Zeiten außer 3,0 sec. spielte für diesen Beobachter eine subjektive Rhythmisierung der beiden Lichtempfindungen hinein, gab sogar in den meisten Fällen das sicherste Kriterium der Zeitschätzung ab, während dieser Faktor für die übrigen Beobachter in dieser Zone völlig zurücktrat. Mit der Bezeichnung »Rhythmus« wurde die Erscheinung vom Beobachter nur in Analogie belegt. Innerhalb des Schwellengebietes hatten beide Lichtempfindungen niemals den gleichen psychischen Energiewert, eine von ihnen erhielt eine Bevorzugung, einen Accent oder eine Betonung. Indem dieser Wechsel von Beachten und Nichtbeachten periodisch wurde, d. h. die einmal bevorzugte Empfindung auch fernerhin diese Stellung behielt, entstand ein

subjektiver Rhythmus. Je näher ein Fall noch der objektiven Gleichheit stand, desto leichter ließ sich mit der Betonung wechseln; umgekehrt, je weiter sich das Zeitverhältnis beider Reize der Schwelle näherte, um so eindeutiger und bestimmter zog sich die Betonung auf den längeren hin. Parallel den Betonungsverhältnissen ging die Empfindung des zeitlichen Größenunterschiedes. — Es ist nicht unwahrscheinlich, daß diese subjektive Rhythmisierung, deren Beobachtung auf diesem Gebiete ich vorläufig allein dieser Versuchsperson danke, sich auch für andere Beobachter bei entsprechender Richtung der Aufmerksamkeit bemerkbar macht, und dann auch für sie die Betonung ein Mittel des Zeiturteils ist. So erklären sich die kleinen Werte der U.-S. bei 0,5 und 0,6. Den Zwang der Rhythmisierung in diesen Fällen erweisen die Zahlen der $\varDelta t_u$ in den Tabellen: Für 0,5 war schon bei objektiver Gleichheit der erste Reiz ausschließlich betont und daher länger.

Die Umkehrung der Zeitlage lässt schon an den Schwankungen der Kurven die hier zu erwartende größere Unsicherheit aller Beobachter erkennen. Die Werte der U.-S. sind um durchschnittlich 20 bis 30 σ größer.

2. Kurze Zeiten.

Viel komplizierter liegen die Empfindungsthatsachen bei den kleinsten Zeiten 0,5 bis 0,1. Zwecks langsamer Anpassung an die sich mit jeder weiteren Verkürzung verändernden Bedingungen war ein allmählicher Fortschritt von 0,5 geboten; er geschah ebenfalls streng unwissentlich, wurde aber von den Beobachtern meist richtig erkannt. Hier erforderte schon die Perzeption eines einzelnen Lichtes die höchste Konzentration der Aufmerksamkeit. Das jetzt immer merklichere Heraustreten des An- und Abklingens erreichte bei 0,3 seinen Höhepunkt, sodass hier

jede Empfindung in mehrere Teilphänomene zerfiel. Bei 0,1 hörte eine bemerkbare Dauer der Maximal-Empfindung überhaupt auf: der ganze Vorgang erschien als ein successiver Prozess des An- und Abklingens. Zuweilen ging dieser in der Form einer in die Tiefe gerichteten Hin- und Herbewegung des Bildes vor sich mit gleichzeitigem Anwachsen und Abnehmen der Intensität. Der Bestand der Maximalempfindung war dementsprechend so kurz, dass das Urteil sich mehr auf den ganzen Prozess als auf die Dauer des voll zur Entwicklung gelangten Bildes bezog.

Der ganze Prozess wird aber von dem Auftreten des positiven Nachbildes, das bei der Kürze der Empfindungen häufig nicht unbemerkt bleiben kann, durchkreuzt. Die hierdurch bedingte Komplizierung der Vorgänge ersieht man daraus, dass bisweilen die Zeitdifferenz beider Reize auf Grund ihres jeweiligen Intensitätsunterschiedes zu dem gleichzeitig vorhandenen Nachbilde konstatiert wurde.

Diesem Thatbestand gegenüber konnten sich die Beobachter entweder bemühen, den Gesamtvorgang oder Teilphänomene jedes Lichtreizes zu vergleichen. Beides ist bei den Zeiten 0,3 bis 0,1 nach den Protokollen vorgekommen. Der relativ sehr genaue Wert der Δt_u bei 0,1 in Tab. I (0,003 sec.) resultiert daraus, dass nach eigener Aussage des Beobachter M. nur der Entstehungsvorgang jeder Empfindung für die Schätzung berücksichtigt wurde. Indem man hierbei nur die erste scheinbare Rückwärtsbewegung beachtet, kann man die Raumstrecken nebeneinander halten, auf denen die Bewegung erfolgt; die Zeitschätzung ist hier also, wie man sagen darf, in Raum- und Intensitätsschätzung umgeschlagen, daher wird hier eine den mittleren Zeiten ziemlich entsprechende Genauigkeit erreicht. — Aus dem entgegengesetzten Verhalten, dem Vergleich von je zwei Prozessen, An- und Abklingen, erklärt sich der hohe Wert

der U.-S. bei 0,1 in zweiter Zeitlage der N.-Z. Warum sich hier diese, dort jene andere Art der Beobachtung einstellte, scheint mit der Zeitlage zusammenzuhängen: das aus der Variirung der ersten Zeit stammende größere Unsicherheitsgefühl des Beobachters treibt ihn dazu, sich mehr an das Gesamtphänomen zu halten, um möglichst sicher zu gehen.

Obwohl auch für Beob. K. nach eigener Aussage die kurzen Reize nur noch in An- und Abklingen bestehen, behauptet sich doch die rhythmische Perzeption auch in dieser Zone. Die wenigen Abweichungen der Kurven sind auf Rechnung dieser Thatsache zu setzen. Bei 0,5 und 0,4 herrscht gewöhnlich schon bei objektiver Gleichheit zwingende Betonung des ersten Lichts, daher die kleinen Werte der U.-S. Dasselbe gilt für die Nullwerte der Δt_0 bei 0,1, 0,2 und 0,4, wie für den negativen Wert bei 0,5 in zweiter Zeitlage der N.-Z. — Bei Variirung des zweiten Lichts (N.-Z. 0,2) gab auch Beob. F. eine Tendenz zu Betonung oder stärkerer Beachtung des ersten Lichts zu Protokoll, so erklärt sich der geringe Wert von Δt_u. Sonst fand die rhythmische Perzeption keine Stütze in dieser Zone.

3. Lange Zeiten.

Waren es bei den kleinsten Zeiten wesentlich aus der Natur der Lichtempfindungen stammende Faktoren, die eine größere Ungenauigkeit der Schätzung hervorriefen, so bringt in dem dritten untersuchten Gebiet (N.-Z. 1,5 bis 3,0 sec.) die Natur der Aufmerksamkeit ähnliche Wirkungen hervor. Parallel mit der Verlängerung der Lichtreize wächst die Schwierigkeit, die Dauer jedes Reizes zu umfassen. Entsprechend dem hier sehr allmählichen Wechsel der psychischen Prozesse zeigen die Kurven der U.-S. ein langsames, gleichmäßiges Ansteigen. In der zweiten Zeitlage gehen sie sogar fast parallel. Bei der

Untersuchung wurde stets von 1,5 zu den längeren Zeiten fortgeschritten. Die Größe jeder eingestellten Differenz bei einer N.-Z. betrug 50 σ.

Sogleich bei 1,5 zeigte sich die Schwierigkeit der Perzeption darin, dass von jetzt an das Urteil »unentschieden« statt »gleich« abgegeben wurde. Das Erkennen eines Unterschiedes trat außerdem nicht mehr so prägnant heraus; denn man konnte oft vier bis fünf Differenzen von je 50 σ hintereinander einstellen, ohne dass sich die Empfindungen unterschieden, bis dann bei einem noch weiteren Schritt der Unterschied mit plötzlicher Deutlichkeit in die Augen sprang. Bei der N.-Z. 2 sec. kamen schon bei Variirung um die Hälfte der Δt-Werte alle drei möglichen Urteile bunt durcheinander vor. Dies ist für die längeren Zeiten allgemein und weist deutlich auf die Aufmerksamkeit als Hauptfaktor bei der Schätzung. Die N.-Z. 2,5 erforderte zur Auffassung jedes Reizes in den meisten Fällen bereits je zwei Aufmerksamkeitsperioden und muss daher am besten zur indirekten Perzeption gerechnet werden. Die Beobachter waren zwar gebeten, solange als möglich die Benutzung aller mittelbaren Hilfen zu vermeiden, aber konnte sich bei 2,5 sec. die direkte Perzeption auf die Dauer eines Versuches noch behaupten, so war dies bei 3,0 nicht mehr möglich. Entweder nahm man die verschiedene Intensität der Spannungsempfindungen in den Atmungsorganen zu Hilfe, oder man lehnte sich an das Umdrehungsgeräusch des Elektromotors an, in das eine subjektive Periodisierung hineingebracht wurde. Beobachter K., dessen rhythmische Perzeption hier ganz zurücktrat, konstatierte ferner eine Koinzidenz der Spannungsmaxima mit den Herzschlägen, die sich zugleich beschleunigten. Aus dieser durch mittelbare Auffassung bedingten Erleichterung der Schätzung erklärt sich das Sinken der Kurven zu genaueren Werten der U.-S., wie dies Beob. M. bei Variirung des ersten Lichts und Beob. K.

in beiden Zeitlagen aufweist. Diese Erscheinung stimmt mit der in früheren Untersuchungen beobachteten Thatsache überein, dass sich an den Multiplen des Indifferenzwertes Minima der Schätzung zeigen. — Die auffallende Differenz der U.-S. des Beob. F. in beiden Zeitlagen beruht darauf, dass der Beobachter sich bei Variirung des zweiten Lichts um möglichst unmittelbare Perzeption bemühte, die sich später bei Variirung des ersten Lichts schon von 2,5 ab als undurchführbar herausstellte. Im Allgemeinen ergiebt auch in dieser Zone die Variirung des zweiten Lichts stets genauere Werte.

Der Gesamtüberblick über die Versuche zeigt also nicht nur eine weit größere Abhängigkeit der Zeitschätzung von ihrem objektiven Inhalt, als bisher Wundt und Meumann annahmen, sondern bietet auch auf Grund der im Vergleich zu ‚leeren' Zeiten dem Wesen des Zeitbewusstseins viel näherkommenden Methode einer Vergleichung von Empfindungen eine bedeutend feinere U.-E. dar, als bisher ermittelt wurde. Besonders auffallend ist das Fehlen eines Indifferenzpunktes wie eines Periodicitätsgesetzes. Diese bisher als sicher betrachteten Thatsachen können also keineswegs als allgemein giltiger Ausdruck der Beschaffenheit des Zeitbewusstseins angesehen werden. Sie sind vermutlich lediglich eine Folge der durch die indirekte Perzeption bedingten großen Schwierigkeiten der Schätzung, denen gegenüber der Beobachter zu Periodenbildung in Anlehnung an irgend welche innere oder äußere Empfindungen greift. Die Formulierung Wundts, dass die Vorstellung der Zeitdauer eine Funktion teils der Größe, teils des Wechsels der Aufmerksamkeit sei, fand sich nur bei den langen Lichtzeiten unter schon ungünstigen Versuchsbedingungen bestätigt. Die größte Feinheit des Zeitbewusstseins ist in gleichem Maße ein Produkt der Natur der Empfindungen wie der Aufmerksamkeit. Dass den Empfindungen eine mindestens gleiche, wenn nicht

noch größere Bedeutung zukommt, zeigte sich bei den kürzesten Zeiten, wo sie allein als dominierender Faktor der Zeitschätzung erscheinen.

---

3. Versuche mit Schallzeiten.

Es lag nahe, zu untersuchen, ob die in den vorigen Versuchen gemachten Beobachtungen unter gleichen Versuchsumständen sich auch bei leeren, von intensitätsgleichen Schallreizen begrenzten Zeiten bestätigten. Der dazu angestellte Versuchzyklus brachte ein neues Argument für die oben ausgesprochene Vermutung bei, das Auftreten eines Indifferenzpunktes und Periodicitätsgesetzes möchte auf Rechnung der indirekten Zeitperzeption zu setzen sein. Denn auch bei diesen ‚leeren' Schallzeiten waren innerhalb der oben gezogenen Grenzen von 0,1 bis 3,0 sec. die erwähnten Erscheinungen nicht zu beobachten.

Als Beobachter fungierten die Herren Prof. Martius und cand. phil. Piccard.

Zu allen Experimenten wurde der neue Wundtsche Zeitsinnapparat benutzt, auf den Zungenkontakte mit Hartgummi-Isolierung aufgesetzt wurden. Als Motor diente das Uhrwerk des Baltzarschen Kymographions mit Hilfe einer Übertragungsschnur. Ein und derselbe Schallhammer markierte die Grenzreize. Methode, Reihenfolge der Normalzeiten, Berechnung der Tabellen wurden nach denselben Grundsätzen wie früher geregelt. Die Zwischenzeit wurde hier jedoch weggelassen. Tab. VIII und IX beziehen sich auf die Variirung des zweiten Intervalls, X und XI auf die des ersten, XII giebt die Mittelwerte. Der Gang der relativen U.-S. ist auch hier in Kurven dargestellt. (cf. Fig. 4 bis 6).

Tabelle VIII.

Zweites Intervall variirt. Beob. *M.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_o - \Delta t_u$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,125	0,075	0,025	0,025	0,025	0,0	0,25
0,2	0,236	0,17	0,036	0,03	0,033	+ 0,006	0,165
0,3	0,35	0,25	0,05	0,05	0,05	0,0	0,167
0,4	0,45	0,352	0,05	0,048	0,049	+ 0,002	0,122
0,5	0,572	0,44	0,072	0,06	0,066	+ 0,012	0,132
0,6	0,696	0,512	0,096	0,088	0,092	+ 0,008	0,113
0,7	0,772	0,628	0,072	0,072	0,072	0,0	0,103
0,8	0,884	0,7	0,084	0,1	0,092	— 0,016	0,102
0,9	1,0	0,775	0,1	0,125	0,112	— 0,025	0,124
1,0	1,12	0,862	0,12	0,138	0,129	— 0,018	0,129
1,5	1,644	1,36	0,144	0,14	0,142	+ 0,004	0,095
2,0	2,25	1,75	0,25	0,25	0,25	0,0	0,125
2,5	2,75	2,3	0,25	0,2	0,225	+ 0,05	0,09
3,0	3,3	2,8	0,3	0,2	0,25	+ 0,1	0,083

Tabelle IX.

Zweites Intervall variirt. Beob. *P.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_o - \Delta t_u$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,25	0,075	0,15	0,025	0,087	+ 0,025	0,87
0,2	0,275	0,17	0,075	0,03	0,052	+ 0,045	0,26
0,3	0,375	0,25	0,075	0,05	0,062	+ 0,025	0,206
0,4	0,462	0,35	0,062	0,05	0,056	+ 0,012	0,14
0,5	0,596	0,44	0,096	0,06	0,078	+ 0,036	0,156
0,6	0,696	0,512	0,096	0,088	0,092	+ 0,008	0,153
0,7	0,772	0,628	0,072	0,072	0,072	0,0	0.103
0,8	0,872	0,712	0,072	0,088	0,08	— 0,016	0,1
0,9	1,0	0,788	0,1	0,112	0,106	— 0,012	0,118
1,0	1,12	0,875	0,12	0,125	0,122	— 0,005	0,122
1,5	1,692	1,428	0,192	0,072	0,132	+ 0,12	0,088
2,0	2,175	1,775	0,175	0,225	0,2	— 0,05	0,1
2,5	2,725	2,3	0,225	0,2	0,212	+ 0,025	0,085
3,0	3,2	2,8	0,2	0,2	0,2	0,0	0,07

Tabelle X.

Erstes Intervall variirt. Beob. *M.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_u - \Delta t_o$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,123	0,048	0,023	0,052	0,037	+ 0,029	0,37
0,2	0,254	0,11	0,054	0,09	0,072	+ 0,036	0,36
0,3	0,362	0,25	0,062	0,05	0,056	— 0,012	0,187
0,4	0,487	0,35	0,087	0,05	0,068	— 0,037	0,17
0,5	0,625	0,463	0,125	0,037	0,081	— 0,088	0,162
0,6	0,675	0,538	0,075	0,062	0,068	— 0,013	0,153
0,7	0,82	0,6	0,12	0,1	0,11	— 0,02	0,157
0,8	0,92	0,704	0,12	0,096	0,108	— 0,024	0,135
0,9	1,05	0,8	0,15	0,1	0,125	— 0,05	0,139
1,0	1,15	0,888	0,15	0,112	0,131	— 0,038	0,131
1,5	1,725	1,375	0.225	0,225	0,225	0,0	0,15
2,0	2,3	1,856	0,3	0,144	0,222	— 0,156	0,111
2,5	2,7	2,2	0,2	0,3	0,25	+ 0,1	0,1
3,0	3,35	2,65	0,35	0,35	0,35	0,0	0,117

Tabelle XI.

Erstes Intervall variirt. Beob. *P.*

t	t_o	t_u	Δt_o	Δt_u	Δt_m	$\Delta t_u - \Delta t_o$	$\frac{\Delta t_m}{t}$
0,1	0,123	0,048	0,023	0,052	0,037	+ 0,029	0,37
0,2	0,236	0,155	0,036	0,045	0,04	+ 0,009	0,2
0,3	0,362	0,212	0,062	0,088	0,075	+ 0,026	0,25
0,4	0,472	0,35	0,072	0,05	0,061	— 0,022	0,153
0,5	0,58	0,438	0,08	0,062	0,071	— 0,022	0,142
0,6	0,675	0,51	0,075	0,09	0,083	+ 0,015	0,138
0,7	0,812	0,613	0,112	0,087	0,099	— 0,025	0,141
0,8	0,92	0,704	0,12	0,096	0,108	— 0,024	0,135
0,9	1,05	0,8	0,15	0,1	0,125	— 0,05	0,139
1,0	1,175	0,888	0,175	0,112	0,144	— 0,063	0,144
1,5	1,725	1,375	0,225	0,125	0,175	— 0,1	0,117
2,0	2,3	1,784	0,3	0,216	0,258	— 0,084	0,129
2,5	2,7	2,2	0,2	0,3	0,25	+ 0,1	0,1
3,0	3,35	2,75	0,35	0,25	0,3	— 0,1	0,1

Tabelle XII.

Mittlere Werte der $\frac{\Delta tm}{t}$ aus beiden Zeitlagen.

t	Beob. M.	Beob. P.	t	Beob. M.	Beob. P.
0,1	0,31	0,62	0,8	0,118	0,117
0,2	0,262	0,23	0,9	0,131	0,128
0,3	0,177	0,228	1,0	0,13	0,133
0,4	0,146	0,147	1,5	0,122	0,102
0,5	0,147	0,149	2,0	0,118	0,12
0,6	0,133	0,145	2.5	0,095	0,092
0,7	0,13	0,122	3,0	0,1	0,085

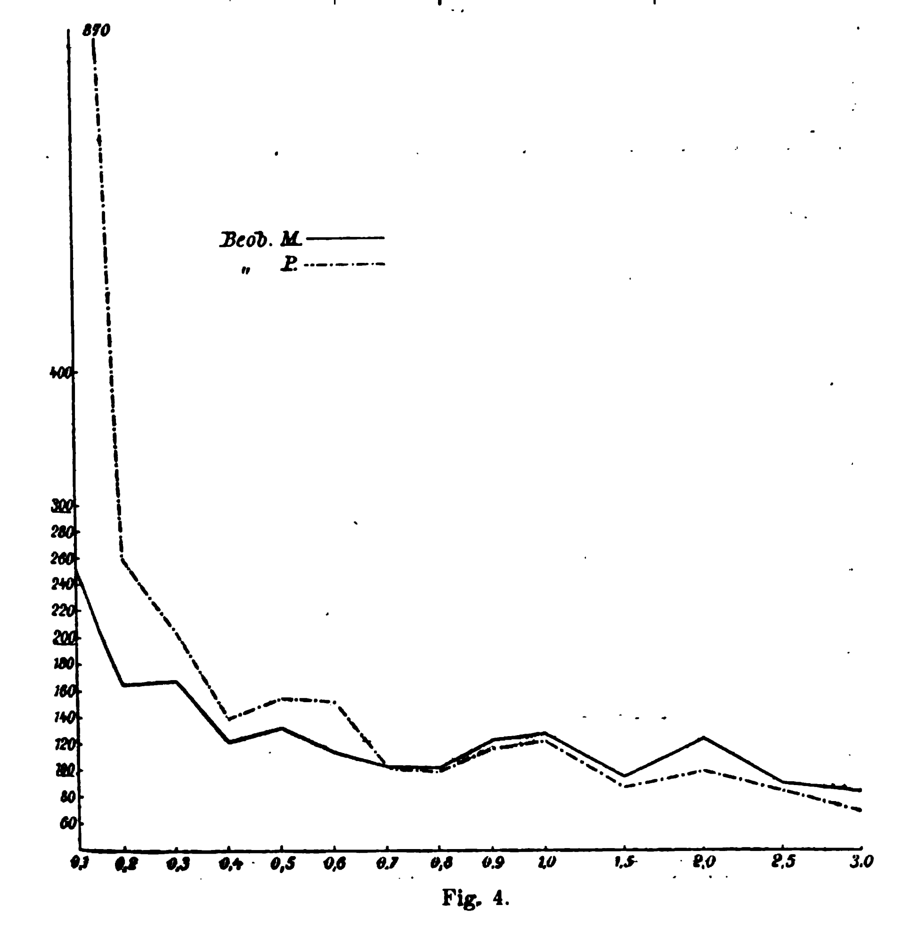
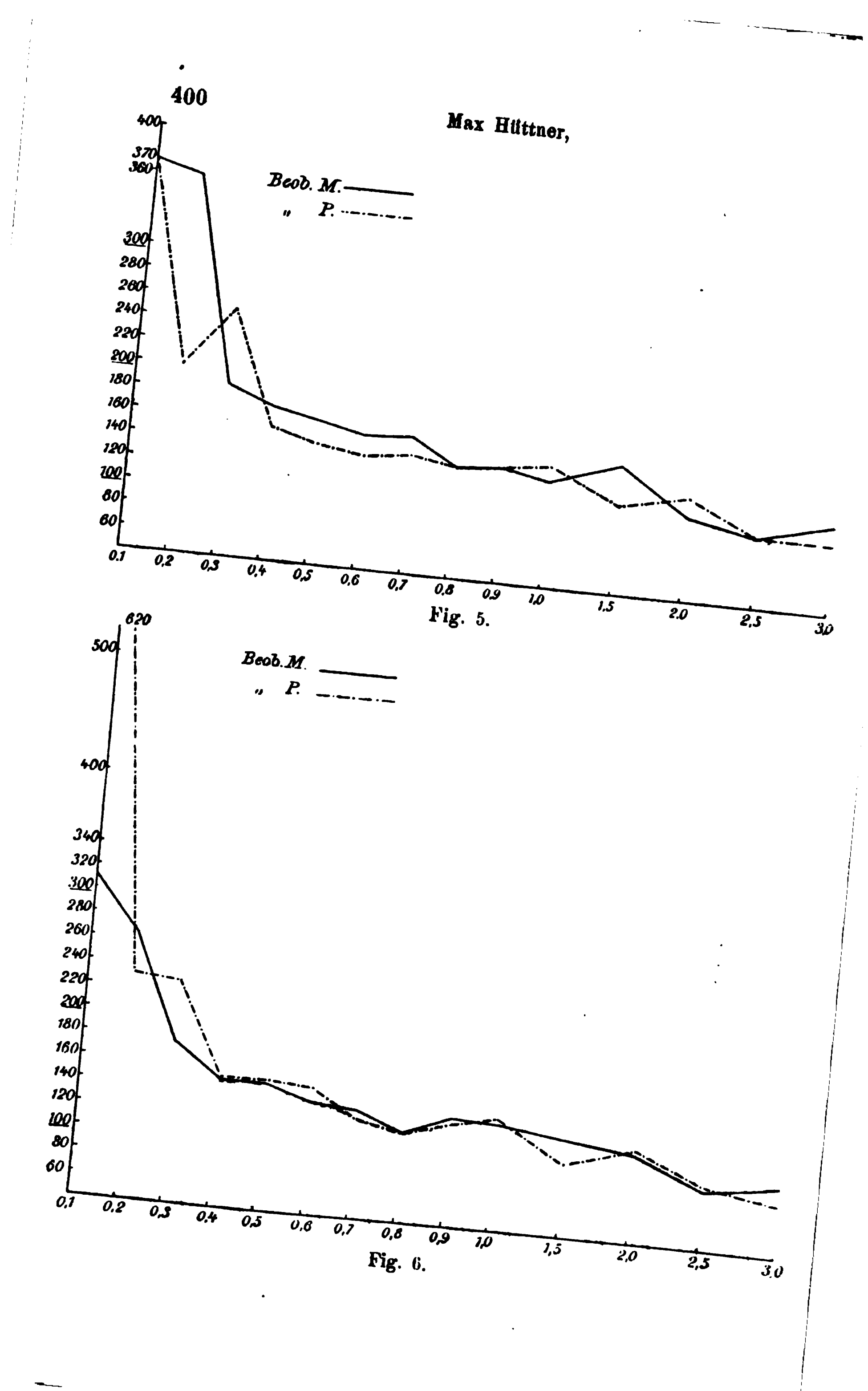


Fig. 4.



400
370
360
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
Beob. M.
" P.

Fig. 5.

620
500
400
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
Beob. M.
" P.

Fig. 6.

Psychologische Analyse: Beginnen wir die psychologische Analyse mit den längsten Zeiten, so sind hier unbestimmte Spannungsempfindungen in Organen und Muskeln Inhalt des Bewusstseins und Objekt der Beurteilung. Die sehr kurzen Schallreize, welche diese Spannungsgefühle abgrenzen, treten aber für die Aufmerksamkeit nicht ganz zurück; im Gegenteil dringen die Empfindungen der Grenzreize mit fortschreitender Verkürzung der Intervalle immer mehr vor, bis sie von ca. 0,5 ab allein die Aufmerksamkeit beschäftigen. An einem in der Mitte liegenden Punkte wird dieser gemischte Inhalt des Bewusstseins zu gleichen Teilen vorhanden sein. Diesem psychischen Thatbestand entspricht es, wenn bei den längeren Intervallen die Schätzung am genauesten ist. Eine sich unwillkürlich einstellende Bildung subjektiver Perioden findet hier die wenigsten Widerstände. Die in beiden Zeitlagen vorhandene Unebenheit der Kurven bei 1,5 deutet schon auf einen allmählichen qualitativen Wechsel des Bewusstseinsinhalts infolge der sich vordrängenden Empfindungen der Grenzreize. Parallel damit geht die Thatsache, dass die drei Grenzreize mehr als ein einheitliches Gesamtphänomen aufgefasst werden. Der Eindruck des dritten Hammerschlages dient jetzt als Kriterium des Urteils[1]. Wie die Differenzen der Δt_o- und Δt_u-Werte beweisen, liegt der Schwerpunkt der Aufmerksamkeit am Ende des Gesamtphänomens. Bei Variirung des zweiten Intervalls ist in dieser Zone Δt_o kleiner als Δt_u. Umgekehrt liegt das Verhältnis bei den längeren Intervallen. Bei Variirung des ersten Intervalls ist dasselbe Phänomen in noch ausgedehnterem Maße zu beobachten. (cf. Tab. X u. XI). Nur ist jetzt Δt_o größer als Δt_u, da sich beide Bestimmungen stets auf die variirte Zeit beziehen. Für die N.-Z. 0,9 findet sich im

1) cf. die gleiche Beobachtung Schumanns, Ztschr. f. Psych. XVIII.

Protokoll bei beiden Beobachtern die Notiz, dass eine willkürliche Gruppierung der Schalleindrücke möglich sei, ein neues Argument für die dargelegte Auffassung der psychischen Phänomene. Diese mit fortschreitender Verkürzung der N.-Z. stets zwingender auftretende Art der Perzeption ändert von ca. 0,5 ab das Objekt der Beurteilung derart, dass die Untersuchung ‚leerer' Zeiten damit ihre Grenze findet. Denn dass hier noch ‚leere' Zeiten für die Aufmerksamkeit vorlägen, wird niemand behaupten. Aus der einzig zulässigen Perspektive der psychologischen Thatsachen angesehen, stellt die Vergleichung leerer Zeiten unter 0,5 sec. eine Untersuchung über die subjektive Auffassung resp. Gruppierung eines aus drei intensitätsgleichen Empfindungen bestehenden Vorstellungskomplexes dar, dessen Elemente zeitlich verschoben werden. Mit Rücksicht auf diesen psychischen Thatbestand schien eine gedrängte tabellarische Übersicht der hier gefundenen Vorgänge nicht ganz wertlos, umsomehr als damit für das Verständnis und die Kritik der ersten Arbeit Meumanns über objektive Rhythmisierung[1]) eine unentbehrliche Ergänzung geboten wurde (cf. Anhang).

Als besonders beachtenswert ist aus dieser Übersicht Folgendes hervorzuheben. Mehr als einmal geht einer objektiven Gruppierung die entgegengesetzte subjektive parallel, die erst mit Überschreitung der Schwelle verschwindet. — Von 0,3 ab empfinden die Beobachter in den drei Schallreizen Intensitätsunterschiede, die bei 0,1 am klarsten hervortreten und die Rhythmisierung beeinflussen. Zum Teil finden sie vielleicht ihre Erklärung in den durch die schnelle Aufeinanderfolge der Reize bedingten Klarheits- und Deutlichkeitsunterschieden der Empfindungen.

Mit der durch die Versuchsanordnung gegebenen Beschrän-

---

1) cf. oben pag. 16.

kung kann also von dem Vorhandensein eines Indifferenzpunktes wie der Giltigkeit eines Periodicitätsgesetzes nicht die Rede sein.

Eine Nebeneinanderstellung der untersuchten Licht- und Schallzeiten zeigt die durchweg größere Genauigkeit der Schätzung bei Lichtempfindungen (cf. dazu Fig. 7). Man darf sich natür-

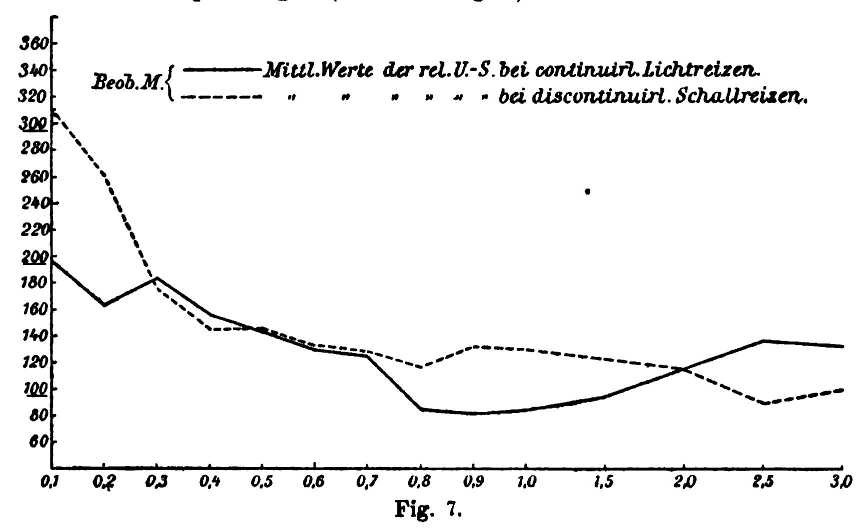


Fig. 7.

lich nicht auf das Vergleichen der Größe der rel. U.-S. beschränken, sondern hat noch die bedeutend größere Schwierigkeit der Schätzung optischer Reize zu berücksichtigen. Damit ist die Hauptfrage, ob ‚leere' Zeiten oder kontinuierliche Empfindungen eine feinere Zeitschätzung ermöglichen, für das optische und indirekt auch für das akustische Sinnesgebiet zu Gunsten der Empfindungen entschieden.

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Die wirkliche Zeitschätzung lehnt sich überall an bestimmte Empfindungsthatsachen und Vorstellungen an. Eine Auffassung der Zeit als solcher giebt es ebensowenig als eine Schätzung derselben.

2. Eine gegebene Vorstellung von gewisser Dauer können wir nur innerhalb der Zeit 0,5 bis 2 sec. unmittelbar mit einer zweiten ihrer Dauer nach wirklich exakt vergleichen. In diesem Gebiete gelten die allgemeinen Gesetze des Vergleichens zweier Sinneseindrücke, sodass die Zahlen der relativen U.-S. dem Weberschen Gesetze im Allgemeinen entsprechen.

3. Bei kürzeren und längeren Zeiten treten verschiedene besondere Empfindungsverhältnisse ein, an welche das Zeiturteil sich anlehnt.

a) Bei kurzen Lichtreizen treten die Erscheinungen des An- und Abklingens so hervor, dass das Zeiturteil sich auf diese im Verhältnis zu den Reizen viel längeren Empfindungsvorgänge bezieht und durch deren Unbestimmtheit ungünstig beeinflusst wird. — Kurze, durch kein Intervall getrennte Schalleindrücke verbinden sich zu einem einheitlich aufgefassten Gesamtbilde; auf die Zeitschätzung der in dies eingehenden Teilstrecken hat die subjektive Rhythmisierung einen bestimmten Einfluss.

b) Bei längeren Zeiten wird der Zeitschätzung irgend ein sekundäres Empfindungsmoment unwillkürlich zu Grunde gelegt, welches die gegebene Zeit in für die Auffassung bequeme Strecken einteilt.

4. Die Lehre vom Indifferenzpunkt der Zeitschätzung und der Unterschätzung großer, Überschätzung kleiner Zeiten beruht auf der reproduktiven Methode, drückt also auch nicht Eigenschaften der Zeitschätzung, sondern der Zeitreproduktion aus.

Sind diese Leitsätze richtig, so kommt in die scheinbar bunte Mannigfaltigkeit der Versuchsergebnisse der verschiedenen Autoren übersichtliche Ordnung und verständlicher Sinn. Auch ist die Thatsache zu verzeichnen, dass unser wirkliches Zeitbewusstsein viel sinnlicher ist als die Gewöhnung an die abstrakte Zeitvorstellung und die Zeitsymbole (Uhr etc.) es uns erscheinen lassen will.

Anhang.

Protokoll zu den Schallzeiten 0,4 bis 0,1.

N.-Z. 0,4.

Intervall	Veränderung	Beob. *M.*	Beob. *P.*
I.	+ 12 σ	Kein Zeitunterschied. Gruppierung 1 2—3.	Gleich.
	+ 24 σ	Gleich, Gruppierung wie früher, aber allmählich eher Neigung zu 1—2 3.	Gleich.
	+ 36 σ	Dasselbe.	Gruppierung 1—2 3, sonst kein Zeitunterschied.
	+ 72 σ	Unsicher.	Deutlich II. kürzer.
	+ 87 σ	Deutlich II. kürzer.	—
II.	Kein Rhythmus zu beobachten.		

N.-Z. 0,3.

Intervall	Veränderung	Beob. *M.*	Beob. *P.*
I.	+ 25 σ	Man hört sofort den Rhythmus 1 2 3́ ohne jeden zeitlichen Unterschied.	Öfter gleich als kürzer. Kein Rhythmus.
	+ 37 σ	Der Rhythmus 1 2 3́ bleibt konstant, tritt aber nicht bei jeder Beobachtung mit gleicher Deutlichkeit auf, sodass schon bisweilen das II. Int. kürzer gehört wird. Aber es kommen auch noch Gleichheitsfälle vor.	Gleich und kürzer. Kein Rhythmus.

N.-Z. 0,3. (Fortsetzung.)

Intervall	Veränderung	Beob. *M.*	Beob. *P.*
I.	+ 50 σ	Der Rhythmus ist sehr zurückgetreten, die zeitlichen Verhältnisse lassen sich bequemer ins Auge fassen, daher II. Int. schon meistens kürzer.	Wie vorhin.
I.	— 25 σ	Der Rhythmus 1 2 3́ drängt sich unwillkürlich auf; ein zeitlicher Unterschied ist daneben nicht zu empfinden.	Gleich. Kein Rhythmus.
	— 37 σ	Der Rhythmus bleibt, gestattet aber schon neben Gleichheit eine Verlängerung des II. Int. zu erkennen.	Wie vorhin.
	— 50 σ	Rhythmus tritt zurück. II. Int. öfter länger, auch noch gleich.	Gleich und länger.
II.	+ 25 σ	Man hört nur den Rhythmus 1́ 2 3. Ein zeitlicher Unterschied ist nicht zu konstatieren.	Gleich. Kein Rhythmus.
	+ 50 σ	Der Rhythmus 1́ 2 3 kehrt sich um in die Form 1 2 3́, damit erscheint das II. Int. verlängert.	Gleich, mit Neigung zu II. Int. länger.
II.	— 50 σ	Der 3. Schall ist betont, man hört also den Rhythmus 1 2 3́. Durch diese Art der Rhythmisierung wird das II. Int. als kürzer erkannt.	Kürzer, unabhängig vom Rhythmus erkannt.

N.-Z. 0,2.

Intervall	Veränderung	Beob. *M.*	Beob. *P.*
I.	+	Kein Rhythmus.	Kein Rhythmus.
I.	— 7 σ	Unbestimmt auftretende Gruppierung 1 — 2 3.	Gruppierung 1 — 2 3, daher II. Int. kürzer.
	— 15 σ	Die Gliederung ist sehr unsicher geworden.	Dasselbe.
	— 30 σ	Die Gruppierung ist ganz verschwunden. Zeitlich beide Intervalle gleich.	Gruppierung ist ganz zurückgetreten. Zeitlich gleich.
	— 45 σ	Rhythmus 1́ 2 3. Die zeitlichen Verhältnisse sind unklar geworden.	Die der früheren entgegengesetzte Gruppierung 1 2 — 3 macht sich geltend, daher schließt man auf II. Int. länger.
	— 60 σ	Gruppierung 1 — 2 3 mit wechselnder Betonung; entweder 1́ — 2 3 oder 1 — 2 3́; zeitlich II. Int. kürzer.	Gruppierung 1 2 — 3 hält sich. II. Int. länger.
	— 75 σ	Beide Rhythmen im Wechsel zu hören: 1́—2 3 und 1—2 3́. II. Int. länger od. kürzer.	—
	— 90 σ	Die Rhythmen treten zurück. II. Int. länger.	—
II.	+	Kein Rhythmus.	Kein Rhythmus.
II.	— 15 σ	Meistens kein Rhythmus u. kein Zeitunterschied. Bisweilen die Gliederung 1—2 3.	Gruppierung 1—2 3. II. Int. kürzer.
	— 30 σ	II. Int. kürzer.	Dasselbe.

N.-Z. 0,1.

Intervall	Ver-änderung	Beob. *M.*	Beob. *P.*
I.	+ 0 σ	Sofort der konstant bleibende Rhythmus 1 2 3̋.	Gruppierung 1—2 3.
	+ 7 σ	Derselbe Rhythmus 1 2 3́ bleibt, aber die Betonungsintensität von 3́ ist etwas schwächer.	Wie vorhin, die Gruppierung 1—2 3.
	+ 22 σ	Zu dem bisherigen Intensitäts-Rhythmus 1 2 3́ tritt jetzt die zeitliche Gruppierung der beiden letzten Schalleindrücke, es ergiebt sich also das Schema 1—2 3́. Damit wird II. Int. als kürzer erkannt.	Zu der bisherigen zeitlichen Gruppierung 1—2 3 tritt jetzt die Empfindung von höheren Intensitätsstufen der beidenletztenzusammengegliederten Eindrücke. schematisch: 1—2̀ 3́. Damit erscheint das II. Int. kürzer.
I.	— 0 σ	Sofort der konstant bleibende Rhythmus 1 2 3́.	Gruppierung 1—2 3.
	— 15 σ	Zu dem bisherigen Rhythmus tritt eine engere Zusammengliederung der beiden letzten Schalleindrücke: 1—2 3́.	Wie vorhin, Gruppierung 1—2 3.
	— 22 σ	Dasselbe.	Dasselbe.
	— 30 σ	Die bisherige Gliederung verliert an Deutlichkeit und wird unsicher, der Intensitätsrhythmus bleibt aber nach wie vor bestehen: 1 2 3́.	Dasselbe.

N.-Z. 0,1.

Intervall	Veränderung	Beob. *M.*	Beob. *P.*
I.	— 37 σ	Die Gliederung ist ganz verschwunden, es besteht aber noch der Intensitäts-Rhytmus 1 2 3́ mit derselben Prägnanz.	Unsicheres Zeiturteil: II. Int. kürzer oder gleich. Von Betonungsrhythmus keine Spur.
	— 45 σ	Der letzte Schlag erscheint noch stärker betont als bisher: 1 2 3̋.	Die bisherige Gruppierung kehrt sich in ihr Gegenteil um: 1 2—3.
	— 52 σ	Rhythmus bleibt derselbe, gestattet aber die Erkennung des Zeitunterschiedes: II. Int. länger.	Diese Gruppierung 1 2—3 bleibt bestehen und ermöglicht so das Zeiturteil: II. Int. länger.
II.	+ 12 σ	Zeiturteil gleich. Intensitäts-Rhythmus 1 2 3́.	Gleich. Beide Arten der Gruppierung möglich: 1—2 3 und 1 2—3.
	+ 25 σ	Sehr auffallende, stärker gewordene Betonung von 3. Schema: 1 2 3̋, daraus der Schluss zu ziehen, dass II. Int. länger.	Unentschieden. Der dritte Schlag ist betont. Rhythmus 1 2 3́. Daneben die Gliederung 1—2 3́, daher Neigung zu II. Int. kürzer.
	+ 62 σ	Bis hierher stets derselbe Rhythmus 1 2 3́, daneben die sichere Erkenntnis: II. Int. länger.	Mehr gleich. Rhythmus tritt zurück.
	+ 90 σ	—	Willkürliche Gruppierung möglich: entweder 1 2-3 oder 1—2 3. Daher Zeiturteil gleich.
	+ 120 σ	—	Nur noch die Gruppierung 1 2—3 zu beobachten, daher Neigung zu II. länger.

N.-Z. 0,1. (Fortsetzung.)

Intervall	Ver-änderung	Beob. *M.*	Beob. *P.*
II.	+ 150 σ	—	Der 3. Schalleindruck erscheint noch isolierter, damit das sichere Urteil: II. Int. länger.
II.	— 12 σ	Rhythmus 1 2 3́.	Kein Unterschied.
	— 25 σ	Derselbe Rhythmus 1 2 3́. Daneben das I. Int. klarer zu hören, also II. Int. kürzer.	Kein Rhythmus. II. Int. kürzer.

10.

Über die Lehre von der Beeinflussung des Pulses und der Atmung durch psychische Reize

von

Götz Martius.

Der Einfluß psychischer Vorgänge auf Atem und Puls ist in neuerer Zeit vielfach untersucht worden. Dabei ist eine große Vorschiedenheit der Ergebnisse der Untersuchung zutage getreten, welche für den zuerst an diese Fragen Herantretenden den Eindruck erwecken muß, daß entweder auf diesem Gebiete überhaupt nichts Sicheres auszumachen ist, daß die Frage also falsch gestellt ist, oder daß die Methoden noch nicht diejenige Vervollkommnung erfahren haben, welche zu ihrer befriedigenden Lösung erforderlich sein würde. So finden Mentz[1]), Lehmann[2]) u. a. für die Aufmerksamkeit eine Pulsverkürzung als charakteristisch, Meumann[3]) dagegen eine Pulsverlängerung. Mit den lustvollen Affekten fand Gent[4]) im allgemeinen eine Pulsverkürzung verbunden, während sonst eine Pulsverlängerung bei Lustzuständen behauptet wird. Dem Gefühl der Lösung läßt Brahn[5]) eine Verlängerung, Gent

[1]) Mentz, Philos. Studien. Bd. XI, 1895, S. 61 ff.

[2]) Lehmann, Die körperlichen Äußerungen der psych. Zustände, deutsch von A. Bendixen. 1899.

[3]) Meumann u. Zoneff, Philos. Studien, Bd. XVIII, 1903, S. 44.

[4]) Gent, Philos. Studien, Bd. XVIII, 1903, S. 715 ff.

[5]) Brahn, Philos. Studien, Bd. XVIII, 1903, S. 127 ff.

eine Verkürzung des Pulses entsprechen. Das sind offenbare Widersprüche, welche gelöst werden müssen. Oder man muß die ganze Lehre vom Einfluß psychischer Vorgänge auf Puls und Atmung als unfruchtbar zurückstellen.

Die im folgenden mitgeteilten Versuche hatten keinen anderen Zweck, als durch eigene Anschauung ein Urteil über die Sache zu gewinnen, also zunächst zu entscheiden, welchem der verschiedenen Autoren wohl das meiste Vertrauen in dieser Frage entgegenzubringen sei. Die Versuche habe ich mehrere Jahre lang fortgesetzt, um der je länger je mehr hervortretenden Schwierigkeiten der Versuchstechnik möglichst Herr zu werden. Die unten mitgeteilten Ergebnisse haben nur Material zur Unterlage, das aus den letzten Zeiten dieser Versuche stammt und als relativ einwandfrei zu betrachten war.

Es sind eine ganze Reihe von Möglichkeiten vorhanden, welche den eigentümlichen Zustand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse erklären würden, auch wenn die Frage nicht überhaupt falsch gestellt ist, die Sache also als in sich hoffnungslos aufgegeben werden müßte. Einmal können wirkliche Experimentierfehler in Frage kommen; dann auch falsche Vorstellungen über die Bedeutung des durch die Experimente gewonnenen Materials, also falsche Rechnungsweisen und Deutungen. Daß beides der Fall gewesen ist, soll in dem ersten Abschnitt der nachfolgenden Untersuchungen gezeigt werden.

Ich werde sodann die von mir selbst angestellten Versuche mitteilen, in einer Form, welche sich von den aufzudeckenden Fehlern freizuhalten sucht, und die Ergebnisse erörtern, welche sich ergeben, wenn wir unbefangen und ohne jede theoretische Voreingenommenheit das Material als solches sprechen lassen.

Schließlich wird die Frage nicht ganz zu umgehen sein, wie denn von dem gewonnenen Standpunkte aus die von anderen Forschern erhaltenen Ergebnisse erklärt werden können.

So ist denn von Anfang an bei der Erörterung dieses Gegenstandes nicht ohne Kritik der Arbeiten anderer auszukommen. Es ist das bei einem so neuen und verwickelten Gegenstande nicht zu verwundern. Denjenigen, welche diesen Boden zuerst beackert und bestellt haben, welche den wilden Boden, sozusagen, urbar gemacht haben, bleibt das Verdienst für die Erschließung dieses Gebietes ungeschmälert bestehen, wenn auch die Frucht, welche hier schließlich wachsen wird, eine andere ist, als sie erwarteten. Auch ist, was ich selbst mitzuteilen mich anschicke, keineswegs das letzte Wort, das über die Sache zu sagen wäre. Ich will zufrieden sein, wenn ich zur Klärung der mannigfachen Schwierigkeiten einen Beitrag liefern kann, so daß die weitere Arbeit eine mehr gesicherte Grundlage gewinnt.

Weitere theoretische Voraussetzungen sollen zunächst nicht gemacht werden. Wo immer die experimentelle Arbeit einsetzt, geht sie darauf aus, Gesetzlichkeiten oder Abhängigkeiten festzustellen. Welcher Art diese sind, zu welchen theoretischen Vorstellungen sie führen, ist eine nachträgliche Frage. Aber die methodologische Forderung müssen wir von vornherein stellen, daß wir erst dann eine Abhängigkeit, ein Funktionsverhältnis annehmen dürfen, wenn die gefundenen Ergebnisse in sich hinreichend übereinstimmen. Je mannigfaltiger die Bedingungen sind, welche eine zu untersuchende Erscheinung beeinflussen können, um so schwieriger wird es sein, die Versuche so einzurichten, daß eine funktionelle Abhängigkeit klar hervortritt. Der empirische Forscher unterliegt hier nur zu leicht der Versuchung, die Abweichungen, welche er von der vermeintlich zuerst gefundenen Regelmäßigkeit findet, auf eine innerhalb der Bedingungen liegende Komplikation zu schieben und dadurch seine Ausnahmen zu erklären. Das ist zulässig, wenn die Wirkung einer solchen Komplikation schon hinreichend

bekannt ist. Es ist an sich sehr wohl möglich, daß verschiedene psychische Einflüsse sich in bezug auf ihre Wirkung auf Puls und Atem aufheben. Aber die Annahme, daß dies in einem Falle wirklich geschieht, ist nur erlaubt, wenn die Einzelwirkungen der sich entgegenstehenden Einflüsse hinreichend bekannt und ihr Vorhandensein in dem bestimmten Falle wirklich nachweisbar, keine bloße Annahme ist. Wir werden den Vorwurf zu weitgehender Kritik oder gar des Skeptizismus nicht scheuen, müssen aber auf der Forderung bestehen, daß auch in diesen verwickelten Fragen die Versuchsergebnisse eindeutig sein müssen.

Allzu leicht machen es sich mit dieser Frage diejenigen, welche, wie es in einem Aufsatze (Ebbinghaus, Zeitschr. für Psychologie und Physiologie d. Sinnesorg. Bd. 31, S. 340 ff.) von Robert Müller geschehen ist, darauf hinweisen, daß die Erklärung der pulsographischen Erscheinungen der Physiologie noch manche Schwierigkeiten bietet, daß aber die von den Psychologen beobachteten Erscheinungen der Atem- und Pulsveränderungen als solche den Physiologen längst bekannt seien. Als ob damit die Sache erledigt sei. Es heißt in dem angeführten Aufsatz: »Damit wird weiterhin behauptet, daß es sich bei den neuen Untersuchungen zur experimentellen Psychologie der Gefühle um Erscheinungen handelt, die längst bekannt sind (es bezieht sich dies auf die Schwankungen des Volums und der Pulslängen. Anm. des Verf.), und diese Behauptung läßt sich auch in bezug auf die Erscheinungen in den Atmungskurven aufstellen. Wenn der Satz, daß es sich hierbei durchgängig um Erscheinungen handelt, die (reflexartig oder automatischer Beschaffenheit) infrakortikalen Ursprungs sind, richtig ist, dann sind die vorliegenden Versuche, eine derartige Symptomatologie der Gefühle zu schaffen, wie sie Wundt und Lehmann sich denken, als unrichtig abzulehnen.« Das gerade

Gegenteil trifft zu, schon für den rein physiologischen Standpunkt. Wenn die regelmäßigen Oszillationen des Pulses und des Volumens vom Atemzentrum im verlängerten Mark abhängig sind, so ist damit nicht ausgeschlossen, daß eine Reizung dieses von der Hirnrinde aus erfolgen kann. Wenn eine beliebige Bewegung des Armes etwa infolge eines starken Wärmereizes nach dem bekannten Schema Meynerts reflektorisch erfolgen kann, so ist gerade dadurch die Möglichkeit gegeben, daß eine gleiche Bewegung auch von der Rinde aus durch den Willen hervorgebracht wird.

Wir würden diese irrtümliche Auffassung kaum herangezogen haben, wenn sie nicht für die gegenseitige Abschließung, in der sich Psychologie und Physiologie noch immer befinden, bezeichnend wäre. Es beruht diese Abschließung auf der möglichen abstrakten Trennung der materiellen und psychischen Vorgänge. Die Wirklichkeit zeigt Körperliches und Geistiges eng miteinander verbunden. Darauf beruht die Notwendigkeit und das Recht einer »physiologischen« Psychologie. Für die empirische Forschung bleibt dabei die Fragestellung eine durchaus einfache. Es ist rein symptomatologisch zu untersuchen, ob auf bestimmte Reize irgendwelche bestimmten Veränderungen des seelischen Verhaltens folgen, und ob auf bestimmte Veränderungen der seelischen Vorgänge bestimmte Veränderungen der äußeren Wirkungen, hier des Pulses und des Atmens, eintreten. Das sind reine Tatsachenfragen, die entschieden werden können und entschieden werden müssen. Die Frage liegt zunächst nicht komplizierter wie bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Qualität der Sinnesempfindungen von den Reizen. Erst dadurch wird die vorliegende Frage schwieriger, daß über das Wesen der Gefühle, deren Einfluß mit untersucht werden soll, die Ansichten noch immer nicht geklärt sind. Nach der einen Ansicht ist auch

ein Gefühl eine Art Empfindung, ein elementares, auf nicht näher bekannten physiologischen Bedingungen beruhendes Erlebnis oder wenigstens der Teil eines solchen elementaren und physisch bedingten Erlebnisses. Nach der andern sind Gefühle Reaktionen subjektiver Art, für welche Bedingungen rein psychischer Natur angenommen werden dürfen. Es wäre unrichtig, gerade an dieser Stelle in den Streit hierüber einzutreten, wo es sich darum handelt, durch erfahrungsmäßige Feststellungen über den Verlauf der Gefühle einen Beitrag für die Entscheidung dieser prinzipiellen Frage zu gewinnen. Auch ein anderer Gesichtspunkt kann von vornherein störend in die Behandlung der Fragen eingreifen; es ist die von manchen Psychologen betonte Anschauung, als ob das Psychische als in sich und aus sich heraus entstanden aufgefaßt und erklärt werden müsse, als ob es eine reine Psychologie, eine kausale Interpretation der psychischen Erscheinungen unter bloß psychologischen Gesichtspunkten geben könne. Es ist das Kehrbild jenes einseitig physiologischen Standpunktes, um den es sich hier handelt. Wir lassen alle diese Fragen dahingestellt und versuchen zunächst ohne jede theoretische Voreingenommenheit an die Erscheinungen selbst heranzutreten, die wir möglichst rein zum Ausdruck bringen möchten.

I.

Die Versuche, welche ich angestellt habe, sind durchweg nach der von Lehmann angegebenen Methode ausgeführt worden, wie sie a. a. O. S. 5 ff. ausführlich beschrieben worden ist. Ich kann daher meinerseits auf eine Beschreibung der Apparate selbst, sowie der gewöhnlichen Methodik verzichten. Daß mit dem Plethysmographen auf leichte Weise klare und

in den wichtigsten Eigenschaften einwandfreie Pulskurven, mit dem *Lehmann*schen Kissenpneumographen gute Atemkurven zu erhalten sind, darüber besteht kein Zweifel. Der Pneumograph wurde in der Gegend oberhalb der Magengrube angelegt, die Kurven geben also die thorakale Atmung wieder.

Nicht auf die Apparate im allgemeinen beziehen sich eine Reihe von Bedenken, welche mir im Laufe der Zeit entstanden sind, wohl aber auf die Ausdeutung der Ergebnisse, welche man mit ihnen erhalten kann.

Ich beginne mit einem Punkte von geringerer Bedeutung, den *Atemschwankungen des Pulses*, wie wir sie nennen wollen, also mit denjenigen Veränderungen der Pulslänge und Pulshöhe, welche der Atembewegung entsprechen. Die nebenstehende Figur stammt aus *Landois'* Physiologie, S. 146, vgl. auch v. *Frey*, Untersuch. des Pulses, S. 203 ff. Bei der Exspiration werden danach die Pulse länger und höher, als sie bei der Inspiration oder während der Atempause sind. Die Erscheinung ist eine allgemeine, sie tritt überall deutlich hervor, wenn auch bei den verschiedenen Individuen in sehr verschiedenem Grade. Nach einiger Übung wird es jedem leicht gelingen, aus einer Pulsreihe die Länge und Häufigkeit der Atemzüge genau zu erkennen, auch wenn sie nicht besonders aufgeschrieben sind. Das entspricht wenigstens meinen Erfahrungen, obschon v. *Frey* (S. 208) bemerkt: »Bei gewöhnlicher Tiefe der Atmung sind die Pulse kaum verschieden, bei heftigeren Atembewegungen, insbesondere bei Rekonvaleszenten und herzschwachen Leuten, sind die Änderungen sehr deutlich«. Aber man durchmustere die Kurven in den Lehrbüchern, oder durchblättere beispielsweise die *Lehmann*schen zahlreichen Kurven, man wird leicht

Fig. 1.

J E J E J E

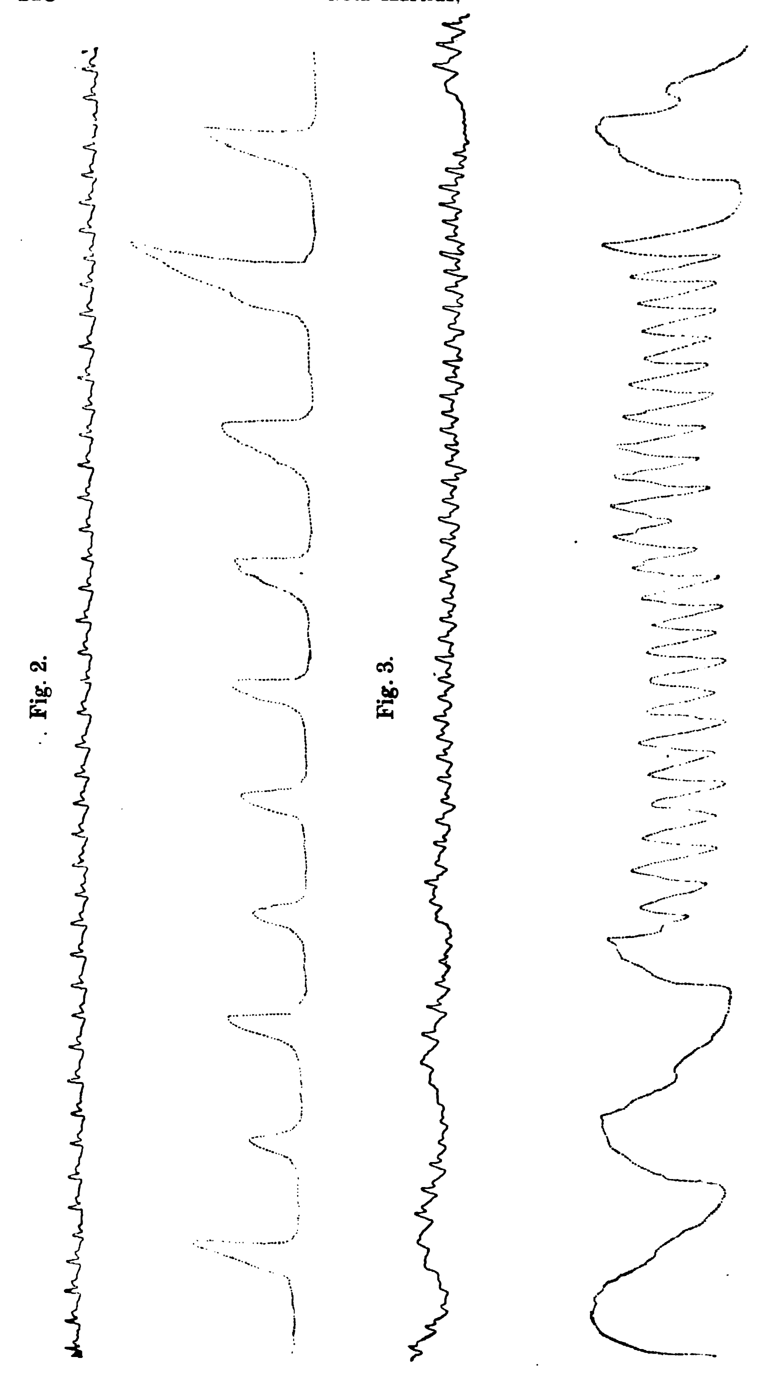


Fig. 2.

Fig. 3.

in den meisten Fällen die Schwankungen in Übereinstimmung mit der Atmung erkennen können. Die von v. Frey am angeführten Orte vollständig erörterten Gründe der Erscheinung der Atemschwankungen sind ja auch ganz allgemeiner Art. Es wäre doch auffallend, wenn sie nur bei krankhaften Individuen sich Geltung verschaffen könnten. Bei Personen, welche nur etwa zwei oder drei Pulse auf einen Atemzug aufweisen, tritt die Erscheinung zurück (Beispiel in Fig. 2). Sie hört auch regelmäßig auf bei gegen die Norm stark beschleunigtem Pulse, wie in Fig. 3, also auch gerade bei beschleunigter Atmung. Schon deshalb ist auf die Atemschwankungen zu achten, sie können zur Kennzeichnung einer untersuchten Erscheinung beitragen. Zu einem Fehler wird ihre Nichtberücksichtigung, wenn bei der Ausmessung der Pulslängen innerhalb kleiner Strecken diese von der Atmung abhängigen Unterschiede vernachlässigt werden. Die Zahl der Pulse, welche auf eine Atmung entfallen, kann neun und mehr betragen. Werden nun kleine Strecken von etwa vier Pulsen besonders gerechnet, so kann es geschehen, daß diese Pulse gerade zu den kurzen der Inspiration oder zu den langen der Exspiration gehören und es wird dann die natürliche Änderung der Länge und Höhe, welche eine Folge der regelmäßigen Atemvorgänge ist, auf eine besondere Ursache geschoben. Als Regel muß für die Pulslängenberechnung gelten, daß hierbei stets die Atemperioden berücksichtigt werden. Die Pulse müssen von einer bestimmten Phase der Atmung bis zu einer gleichen Phase der folgenden Atmungen gerechnet werden, wenn keine Irrtümer entstehen sollen. Die Nichtberücksichtigung der Atemschwankungen hat besonders die Arbeit von Brahn (Philos. Stud. Bd. XVIII, 1903, S. 127 ff.) beeinträchtigt. Brahn (S. 163 a. a. O.) berichtet, daß er bei seinen Versuchen zuerst eine Normalkurve aufgenommen habe. »Ergab dieselbe, was

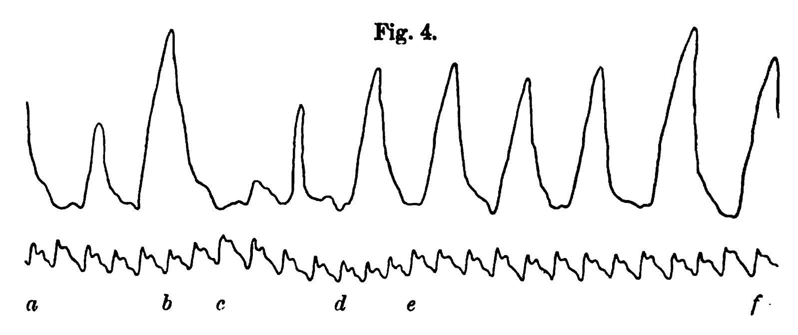
nicht allzu häufig war, starke Verschiedenheiten der einzelnen Pulse schon beim ersten Anblick, so wurde der Versuch ausgesetzt. Sonst wurde diese Kurve als die Norm des Tages angesehen, und ihr schloß sich die zweite, die Gefühlskurve, an.« Es wird sich unten (S. 478 ff.) zeigen, daß es eine Norm des Tages nicht gibt, daß der normale Wechsel der Puls- und Atemerscheinungen ein recht beträchtlicher sein kann und auch innerhalb kürzerer Perioden sich vollzieht. Davon abgesehen konnten die starken Unterschiede, die hier als anormal zur Ausschließung der Kurven führten, nur die Unterschiede der Atemschwankungen sein, welche für den normalen Puls geradezu charakteristisch sind. So ist es denn kein Wunder, daß Brahn diese selben Atemschwankungen als Folge subkortikaler Reize auffassen konnte und zu dem Ergebnis gelangte, daß auch unmerkliche Reize, wie das Aufsetzen eines Reizhaares auf eine Hautstelle (unter Vermeidung der Druckpunkte), eine deutliche Änderung der Pulse herbeizuführen imstande seien. Ein Blick auf seine Kurven I und II (Taf. VII) zeigt, daß diese Pulsänderungen nichts anderes sind als gewöhnliche Pulsschwankungen einer Person, welche eine kurze Atemperiode hat. Es sei jedoch die Ausführung Brahns noch wörtlich angeführt (S. 169): »Nach etwa zwei, manchmal drei unveränderten Pulsen zeigt sich eine Verlängerung des Pulses, die bei einer Länge des einzelnen Pulsbildes von 3 bis 4 mm etwa $^1/_2$ mm, bei einer Länge von 6 bis 7 mm etwa 1 bis $1^1/_2$ mm beträgt. Im allgemeinen wird nur der kleinste Wert dieser Verlängerung erreicht, nur bei Reizen, die sehr nahe an der Schwelle liegen, kommen die größeren Verlängerungen zur Beobachtung. Die Dauer dieser Verlängerung beträgt drei bis vier Pulse, worauf der Puls wieder auf die Norm zurückgeht. Mehrfach war zu beobachten, daß die Verlängerung nur ein bis zwei Pulse dauerte, daß aber dann nach zwei bis drei

oder drei bis vier Pulsen noch einmal ein verlängerter Puls sich zeigte. In ganz wenigen Fällen zeigte sich ferner eine Unregelmäßigkeit insofern, als sich eine geringe Erhöhung des Pulses (selten über $^1/_2$ mm bei 3 bis $3^1/_2$ mm) zeigte, in einem solchen Falle blieb dann die Verlängerung des Pulses aus. Nebenbei sei hier bemerkt, daß auch die ruhige Atmung durch unmerkliche Reize beeinflußt werden kann. Die Änderung besteht teils in einer Verlängerung der Atmung, teils in einer Veränderung der Atemform, derart, daß auf dem graphischen Bilde an der Stelle, welche der Übergang von Exspiration zur Inspiration bezeichnet, an Stelle einer scharfen Kante eine sanfte Wellenlinie tritt.« Ich habe die ganze Stelle hergesetzt, die als geradezu klassisches Beispiel dafür dienen kann, zu welchen eigenartigen Vorstellungen eine minuziöse experimentelle Methode führt, wenn in unkritischer Weise nebeneinander bestehende Erscheinungen kausal aufeinander bezogen werden. Auch die »Spannungs- und Lösungserscheinungen«, wie sie von Brahn (S. 170 ff.) beschrieben werden, dürften im wesentlichen auf die Atemschwankungen zurückzuführen sein.

Ein anderes Verfahren, welches infolge des Bestehens dieser Schwankungen als irreführend bezeichnet werden muß, ist das willkürliche Fraktionieren der Pulskurven, wie wir es bei Lehmann und Meumann vorfinden. Es liegt auf der Hand, daß bei einem derartigen mechanischen Verfahren in der Benutzung aufeinander folgender Pulse durch Zufall das eine Mal die längeren, das andere Mal die kürzeren benutzt werden können. Wenn Meumann und Zoneff, Philos. Stud. Bd. XVIII. S. 1 ff., die Pulsfrequenz (vgl. S. 14) in Fraktionen von fünf oder zehn Sekunden berechnen und daraus eine Beschleunigung und Verlangsamung der Frequenz des Pulses entnehmen, so hat die so gewonnene Zahl keinen Wert für Beurteilung der Kurven. Auch die vielfachen und willkürlichen Fraktio-

nierungen, welche Lehmann vornahm, geben kein Bild von dem gesuchten, unter einer besonderen Bedingung stehenden Verlaufe der Pulskurven. Der Gesichtspunkt, unter dem Lehmann seine Fraktionierungen durchführte, scheint einmal die Veränderung des Niveaus als Folge der Volumveränderungen, sodann auch die Veränderung der Pulsform selbst gewesen zu sein. Über die Niveauänderungen werden wir noch zu sprechen haben. Daß in betreff der Längenverhältnisse der Pulse diese Behandlungsweise zu richtigen Ergebnissen nicht führen kann, läßt sich fast an jeder von Lehmann berechneten Versuchskurve demonstrieren. Nehmen wir die erste beste, d. h. die erste, welche er in ihren Phasen überhaupt wiedergibt (vgl. S. 67, Tab. XV A). Die Kurve ist folgende:

Fig. 4.



Die Längenberechnung lautet:

Phase	a—b	b—c	c—d	d—e	e—f
Anzahl	5	2	4	3	12
Länge	5,5	5,0	6,0	4,7	5,7

In der Zusammenfassung mehrerer derartiger Beobachtungen wird auf Seite 68 gefolgert, daß eine Konzentration der Aufmerksamkeit unmittelbar von wenigen geschwinden Pulsen begleitet werde, während welcher die Volumkurve eine Neigung zur Steigung zeige. »Dann folgen vier bis acht langsame Pulse, während welcher das Volumen langsam sinkt. Die Länge dieser

Pulse ist stets größer als die der zunächst vorhergehenden, oft überschreitet sie sogar die Norm. Schließlich steigt das Volumen wieder bei geschwindem Puls; die Dauer dieser Periode ist sehr abwechselnd. Faßt man diese drei ersten Phasen zusammen, so ist die Pulslänge stets verkürzt, usw.« Diese letzte Behauptung ist auch nach unseren Ergebnissen und denen anderer Experimentatoren richtig. Durch die Zusammenfassung der Pulslängen einer größeren Strecke bei fortgesetzter längerer Einwirkung kann ein Ergebnis gewonnen werden. Man sieht aber, wie Lehmann durch seine Fraktionierung und seine Phasen den charakteristischen Verlauf der Pulsentwicklung für den untersuchten Fall, hier die Wirkung der Aufmerksamkeit, schildern will. Dabei kann es dann nicht ausbleiben, daß die normalen Atemschwankungen des Pulses für diese besondere Wirkung in Anspruch genommen werden. Die auf *c* folgenden längeren Pulse sind Exspirationspulse, die vorhergehenden kürzeren Inspirationspulse. Die Atemschwankungen würden deutlicher sein, falls die Versuchsperson nicht zu denen gehört hätte, welche nur eine geringe Anzahl Pulse auf den Atemzug zählt. Sie sind aber auch so klar genug überall zu sehen. Dabei erkennt man leicht, daß die zusammenfassende Regel auf dies erste Beispiel keineswegs stimmt. Der Reiz, Punktezählen innerhalb einiger Sekunden, war zu unbedeutend, um eine wirklich charakteristische Veränderung zu erzielen. Sucht man den Mittelwert der Pulslängen vor, während und nach der Einwirkung, so erhält man die wenig voneinander abweichenden Zahlen 5,5, 5,6 und 5,5, also eine gar nicht erwähnenswerte Verlängerung während der Reizeinwirkung, welche noch dazu ganz allein auf Rechnung des zufälligen Umstandes zu setzen ist, daß als Folge einer ganz besonders langen Exspiration die Pulse an dieser Stelle entsprechend lang ausfielen. Für die untersuchte Frage ist,

was die Pulslängen betrifft, aus der Kurve einfach nichts zu schließen.

Es erübrigt, in gleicher Weise noch mehr Beispiele zu zergliedern. Wer sich von dem normalen Auftreten der Atemschwankungen des Pulses überzeugt hat, wird überall die Anwendung leicht selbst machen, und wer sich nicht hat überzeugen lassen, wird fortfahren, im natürlichen Verlauf der Lebensvorgänge von selbst eintretende Erscheinungen als für gewisse begleitende psychische Vorgänge charakteristisch in Anspruch zu nehmen.

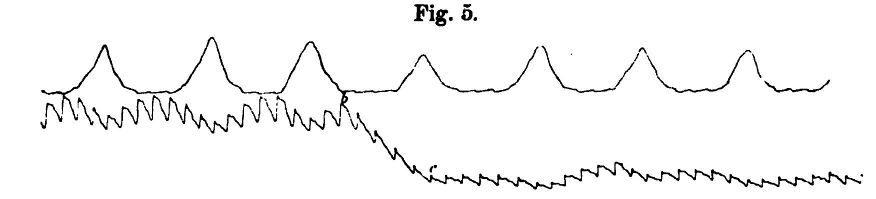
Der zweite Fehler, welcher in der Auswertung der Kurven häufiger gemacht worden ist, hängt mit den besonderen Versuchseinrichtungen der plethysmographischen Methode zusammen und bezieht sich auf die Höhenveränderungen der geschriebenen Pulse, zum Teil auch wieder auf die Veränderungen der Länge.

Auch beim Plethysmogramm ist im allgemeinen die Höhe der Pulse abhängig von der Größe des Druckes, welche den Ausschlag des Schreibhebels des Mareyschen Tambours bewirkt. Die wirkliche Bewegung des Schreibers ist aber hier vielfach die Folge zweier veränderlicher Ursachen, einmal der durch die angenommene Volumveränderung des ganzen eingeschlossenen Gliedes bewirkten Wasserverdrängung, zweitens der durch die arterielle Pulsbewegung erzeugten eigentlichen Pulswelle. Diese beiden Ursachen wirken in verschiedener Weise. Die durch die Volumveränderungen hervorgebrachten Wasserstandsschwankungen finden langsam statt, die Pulswelle pflanzt sich innerhalb dieser langsamen Schwankungen mit einer größeren Schnelligkeit fort. Infolge der langsamen ersten Bewegung steigt (bzw. sinkt) das Niveau der Kurve,

und auf diese Bewegung setzt sich infolge des zweiten Vorgangs die Pulskurve auf, welche deshalb von den Physiologen als Volumpulskurve bezeichnet wird. In welchem Maße diese so erhaltenen Volumpulskurven mit den gewöhnlichen, durch das Sphygmogramm erhaltenen Druckpulskurven gleichzusetzen ist, braucht hier nicht weiter erörtert zu werden. Ich persönlich neige zu der Ansicht, daß der Volumpuls im Prinzip von dem Druckpuls kaum verschieden sein wird.

Tatsächlich sieht man also bei Anwendung des Plethysmographen das Niveau der Pulskurve starken Veränderungen ausgesetzt, welche zum Teil der Atemperiode parallel gehen, zum Teil auch ganz unabhängig von der Atemperiode das Bild eines mehr oder weniger steilen Ansteigens oder Sinkens bieten. Jene ersten, dem Atem entsprechenden Änderungen, die wir als die plethysmographische Atemwelle bezeichnen können, werden wir nachher behandeln. Wir fassen zuerst die von dem Atem unabhängigen Steigungen und Senkungen ins Auge, deren Ursache wir hier ebenfalls noch ganz dahingestellt sein lassen. Sie mag der allgemeinen Annahme entsprechend in den durch die Blutbewegung bedingten natürlichen Volumveränderungen des untersuchten Gliedes bestehen. In der

Fig. 5.

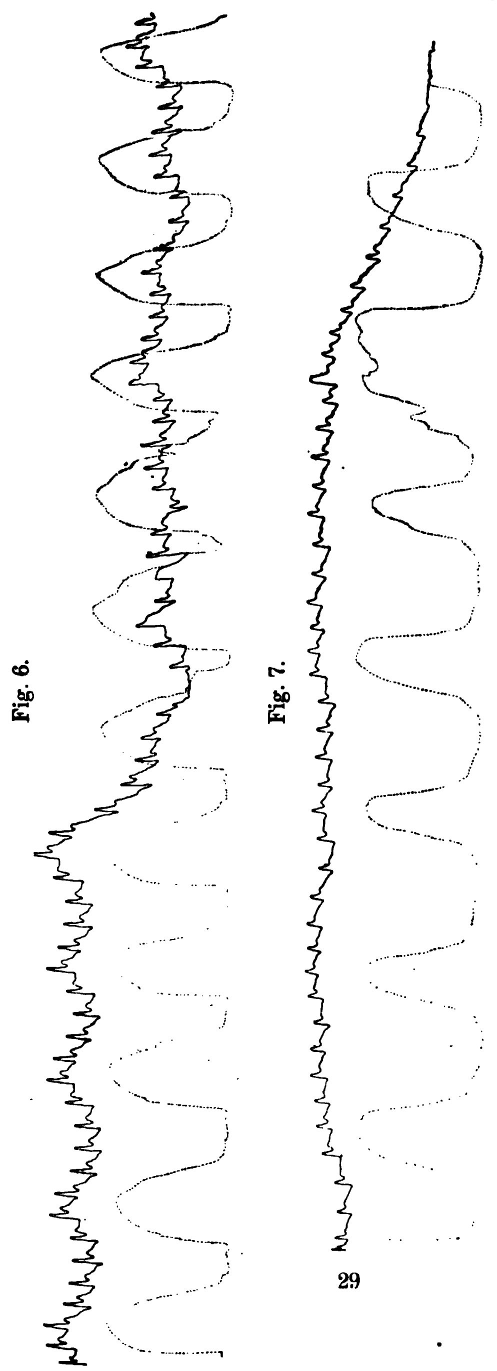


vorstehenden Figur 5 (aus Lehmann a. a. O. Tab. XIV A) ist neben den plethysmographischen Atemwellen die Strecke *b* bis *c* ein gutes Beispiel eines derartigen Sinkens des Niveaus, welches dann bis zum Schluß der Kurve auf der niedrigen Höhe stehen bleibt.

Wie man an der Figur erkennt, weisen die Pulse während des Sinkens eine veränderte Form auf, die Pulse werden bedeutend niedriger. Diese Abnahme der Pulshöhe wird nun von einer Anzahl Autoren als Verminderung des Blutdruckes aufgefaßt. Und es ist ja auch an sich nicht unwahrscheinlich, daß einer starken Volumverringerung, welche die Ursache des Sinkens des Niveaus sein soll, eine Abnahme des Blutdruckes entsprechen muß. Aber selbst wenn dies wirklich so wäre, so läßt sich doch zeigen, daß aus den Kurven selbst, wie sie diese Versuchsanordnung liefert, über die Druckänderungen nicht das geringste geschlossen werden darf. Denn die fragliche Verminderung der Pulshöhen tritt auch ein, wenn von einer Volumenverminderung des Armes gar keine Rede ist, also beispielsweise, wenn durch eine leichte Rückwärtsbewegung des Armes das Wasser zum Sinken gebracht wird, der Blutdruck selbst also in keiner Weise verändert ist. Der Grund dieser Erscheinung mag kein ganz einfacher sein. Wenn das Wasser im Manometerrohre, das mit dem Schreiber in Verbindung steht, sinkt, tritt notwendig eine Luftverdünnung ein. Die Folge davon wird sein, daß ein Stoß von der gleichen Art wie früher nicht mehr mit derselben Stärke durch den gleichsam stärker belasteten Tambour übertragen werden kann. Auch mag die sinkende Bewegung des Hebels dem Stoß einen stärkeren Widerstand entgegensetzen. Die Tatsache steht jedenfalls fest. Zur Veranschaulichung bieten Fig. 6 und 7 Volumsenkungen, welche durch das willkürliche Zurückziehen des Armes im Plethysmographen entstanden sind und offensichtlich genau die gleichen Eigenschaften aufweisen wie die Senkung in Fig. 5.

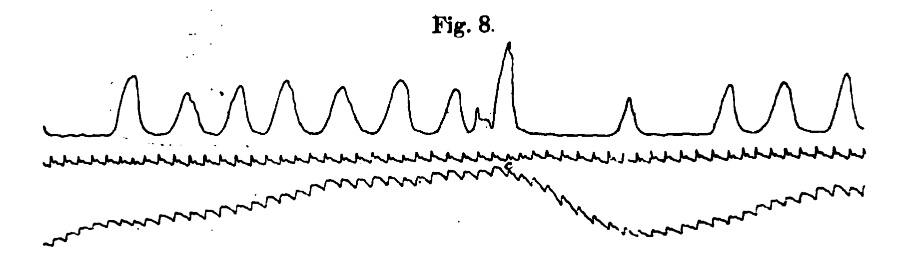
Wenn also Lehmann (S. 116) in bezug auf die Wirkungen der Unlustempfindungen schreibt: »Das Volumen zeigt starke und oft anhaltende Senkung mit bedeutender Abnahme sowohl

der Pulshöhe als der Pulslänge. Wenn das Volumen wieder steigt, beginnt auch die Pulshöhe zuzunehmen, und diese überschreitet oft die Norm, wenn das Volumen sein ursprüngliches Niveau erreicht hat«, — so sind alle diese angeblichen Wirkungen der Unlust, soweit die Pulshöhe in Betracht kommt, auf die Veränderung der mechanischen Bedingungen zurückzuführen, welche die Bewegungen des Schreibhebels bestimmen. Wünscht man noch einen weiteren Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung, so betrachte man die nachstehende Kurve Lehmanns aus seiner Tab. XXXVII C (Fig. 8). Hier sieht


Fig. 6.
Fig. 7.

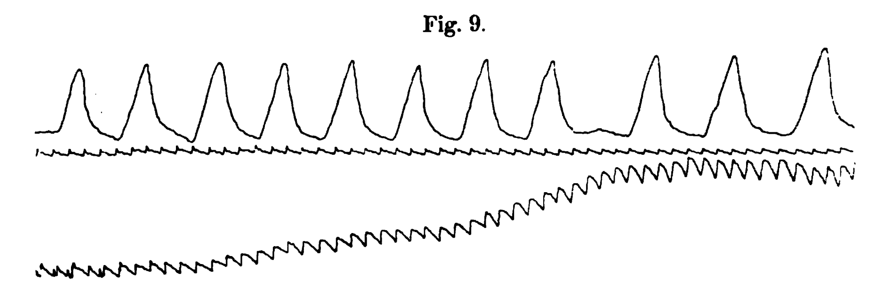
man den Radialisdruckpuls und den Volumpuls untereinander geschrieben. Infolge des Reizes tritt bei *c* eine starke Senkung des Volumpulses ein mit der für diese charakteristischen Höhen-

Fig. 8.



abnahme des Pulses. Der Radialisdruckpuls zeigt in bezug auf die Höhe nicht die geringste Veränderung. Das Umgekehrte, Vergrößerung der Höhe beim Steigen des Niveaus ohne Änderung des gleichzeitigen Druckpulses, sieht man Tab. XXXVI B (Fig. 9).

Fig. 9.



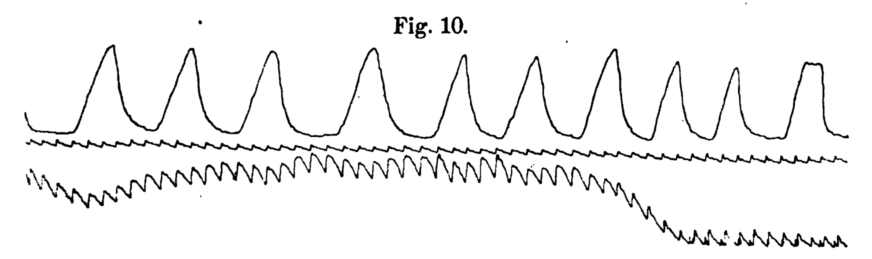
Die Erscheinungen, welche eintreten, wenn das Niveau der Kurve steigt, sind nicht ganz so auffallend wie beim Sinken unter die Norm. Der stärkere Druck auf die Luft im Manometerrohre wird eine Vergrößerung der Pulshöhe zur Folge haben, aber nur in gewissen Grenzen. Denn die eintretende, zum Senkrechten hinstrebende Stellung des Schreibers wirkt dem entgegen und hat zugleich eine Deformation der Pulsform zur Folge, welche also gleichfalls nicht mit den

wirklichen physiologischen Vorgängen in Verbindung gebracht werden darf.

Beispiele hierfür findet man in den Fig. 224 und 225 in Wundts Physiol. Psychologie 5. Aufl. Bd. II. S. 294, während die ebendort abgedruckten Fig. 223 und 226 gute Beispiele für die durch Senkung bedingte Verminderung der Pulshöhe sind. Es folgt daraus auch, daß die von Wundt vertretene Unterscheidung von sechs Grundformen des Gefühls durch die von ihm selbst gewählten Beispiele aus der experimentellen Untersuchung der Ausdrucksformen dieser Gefühle nicht begründet werden kann.

Auch auf die scheinbare Länge der Pulse hat die Niveauänderung und die damit verbundene Stellung des Schreibers einen Einfluß; ein Fehler, welcher allerdings leicht korrigiert werden kann. Wenn bei dem Kymographion der Schreiber so aufgestellt ist, daß die Trommel sich der Erhebung des Schreibers entgegengesetzt bewegt, so muß mit der Volumsteigung eine nicht ganz zu vernachlässigende Verlängerung, mit der Volumsenkung eine ebensolche Verkürzung verbunden sein. Merkwürdigerweise stellt sich bei Lehmann, Tab. XXXVI A (Fig. 10), bei einer starken Senkung im Verhältnis zu dem

Fig. 10.



gleichzeitigen Radialispuls das Umgekehrte ein, die sinkenden Pulse sind gegen die gleichzeitigen Druckpulse um ein weniges verlängert. Es ist dies vielleicht, falls nicht ein Sinken unter die Nullage in Betracht zu ziehen ist, als ein Beweis

dafür anzusehen, daß von den beiden oben angedeuteten Möglichkeiten der Erklärung der Höhenverminderung der Pulse beim Sinken die an zweiter Stelle genannte die wichtigere ist Das Sinken des Hebels bietet dem Druck der Pulswelle einen so großen Widerstand, daß einerseits die Erhebung nur eine sehr geringe wird, andererseits sich diese verzögert. Die eintretende Verlängerung würde eine Folge der langsamer wirkenden Erhebung sein. Ist das normale Niveau wieder erreicht, so wird der Fehler, der hier entsteht, ausgeglichen sein. Bei längeren Versuchen wird er also so wie so nicht störend werden können.

Wir gelangen jetzt zu dem letzten und wichtigsten Punkte dieser Untersuchung der möglichen Täuschungen des Experimentators, zu den eigentlichen plethysmographischen Erscheinungen und ihrer wirklichen Ursache. Die Frage liegt einigermaßen schwierig, und wenn ich mich nicht scheue, den hergebrachten Anschauungen auch vieler Physiologen hier entgegenzutreten, so geschieht dies mit derjenigen Zurückhaltung, welche bei der verwickelten Natur des Gegenstandes nötig erscheint. Ich will mich zunächst rein persönlich ausdrücken, wenn ich sage, daß ich mich nicht davon habe überzeugen können, daß mit den gewöhnlich hier angewendeten Methoden über die volumetrischen Veränderungen der untersuchten Glieder etwas Genaues hat festgestellt werden können, daß infolgedessen für die Frage nach dem Einflusse psychischer Veränderungen auf die plethysmographischen Erscheinungen die Zeit erst recht noch nicht gekommen erscheint.

Wir haben schon oben S. 426 gesehen, daß eine und dieselbe Erscheinung, das Sinken des Niveaus der Pulskurven und eine gleichzeitige Verminderung der Pulshöhe, auf ganz verschiedene Weise entstehen kann: einmal durch die zu unter-

suchende und scheinbar wirklich eintretende Volumverminderung des Armes, und zweitens durch eine ganz geringe willkürliche Rückwärtsbewegung desselben. Die Frage liegt nahe genug, ob bei den plethysmographischen Versuchen nicht unwillkürliche Bewegungen beteiligt sind, welche entweder die Volumänderungen und ihre graphischen Folgen beeinflussen, und das Ergebnis dadurch fälschen, oder welche gar die einzige Ursache der scheinbaren Volumveränderungen wären, sei es in einzelnen Fällen, sei es in allen. Verstärkt wird dieser Verdacht, wenn man sich erinnert, daß unwillkürliche Bewegungen bei psychischen Einwirkungen, denen etwa eine im Ruhezustande befindliche Versuchsperson ausgesetzt ist, nicht die Ausnahme, sondern die Regel sind. Sie erfolgen nicht bloß bei starken und plötzlichen Reizen, im Schreck, bei der Erwartung; es sind deren mit jeder Beobachtung, mit jeder Aufmerksamkeitsrichtung verbunden. Die plethysmographischen Veränderungen sind aber, wie oben schon erwähnt, zweierlei Art. Die einen erfolgen regelmäßig mit den Atembewegungen, und gehen diesen parallel, die anderen treten bei besonderen Anlässen eben geschilderter Art auf. Auch eine regelmäßige plethysmographische Atemwelle, wie wir sie kurz genannt haben, könnte eine Folge von Bewegungen sein, welche von dem Brustkorb auf den Arm übertragen würden. Man beobachte sich einmal daraufhin genauer. Man lege etwa den Arm auf den Tisch und verfolge die Atemzüge und ihre Folgen für den Arm sorgfältig. Man bemerkt leicht, daß mit jeder Inspiration eine Stoßbewegung des Armes nach vorn, mit jeder Exspiration eine Rückbewegung verbunden ist.

Also Bewegungen unter allen Umständen. Es ist nur die Frage, ob der Einfluß dieser Bewegungen auf die Versuche durch die angewandte Versuchsanordnung ausgeschlossen ist oder nicht.

Diese letztere Frage ist dort, wo sie aufgeworfen worden ist, bisher ohne viele Skrupel bejaht worden, ich glaube sie verneinen zu müssen. Ich glaube, daß diejenigen Experimentatoren, welche die Niveauänderungen der Pulskurven schlechthin als Volumschwankungen des untersuchten Gliedes ansprechen, einer Täuschung unterliegen, daß sie die durch die unwillkürlichen Armbewegungen hervorgebrachten Wasserstandsveränderungen fälschlich für plethysmographische Erscheinungen nehmen.

Vielleicht erscheint dem Leser, nachdem so viele Untersuchungen nach der genannten Methode gemacht sind, diese Ansichtsäußerung zunächst befremdlich, zumal die geschilderten Bewegungen von mehreren Seiten sehr wohl bemerkt sind, ohne die gleichen Bedenken anzuregen. Bei dem Sphygmogramm bemerkt von Frey (a. a. O. S. 36), daß der Einfluß von Muskelbewegungen leicht zu beseitigen sei; in bezug auf das Plethysmogramm habe ich keine Erörterung dieses Umstandes finden können. Lehmann ist sich des Vorhandenseins der Bewegungen sehr wohl bewußt, er hält ihren Einfluß aber durch seine Maßnahmen für gebrochen. So sagt er in seiner einleitenden Beschreibung des Versuchsverfahrens (S. 17): »Wenn bei meinen früheren Untersuchungen das Hervortreten der Respiration in den Plethysmogrammen weit deutlicher war als bei den hier vorliegenden, so rührt das sicherlich von dem Umstande her, daß ich damals nicht die notwendigen Maßregeln getroffen hatte, um die Bewegung des Armes im Takt mit dem Atmen vorwärts und rückwärts in der Ruhe zu verhindern«. Diese Maßregeln bestehen in der Wahl einer Blechröhre von einer gerade für den betreffenden Arm geeigneten Weite und Länge. Außerdem wurde (nach S. 44), um eine Sicherheit zu erzielen, daß die Oszillationen durch willkürliche Bewegungen des Armes verstärkt oder ver-

deckt würden, dieser vor dem Versuche im Plethysmographen so fest gespannt, »daß die Versuchsperson nicht einmal mit der größten Anspannung imstande war, irgendeine willkürliche Bewegung mit dem Arme auszuführen«. Im Vertrauen auf diese Sicherheit glaubt denn auch Lehmann von vornherein feststellen zu können, daß die Versuchsperson, »wenn in der Volumkurve Respirationsoszillationen stark hervortreten, ohne daß der Atem besonders tief oder lang ist, und ohne daß ein äußerer Reiz (Wärme, Kälte usw.) supernormale Pulshöhe erzeugt hat«, »entweder schläfrig

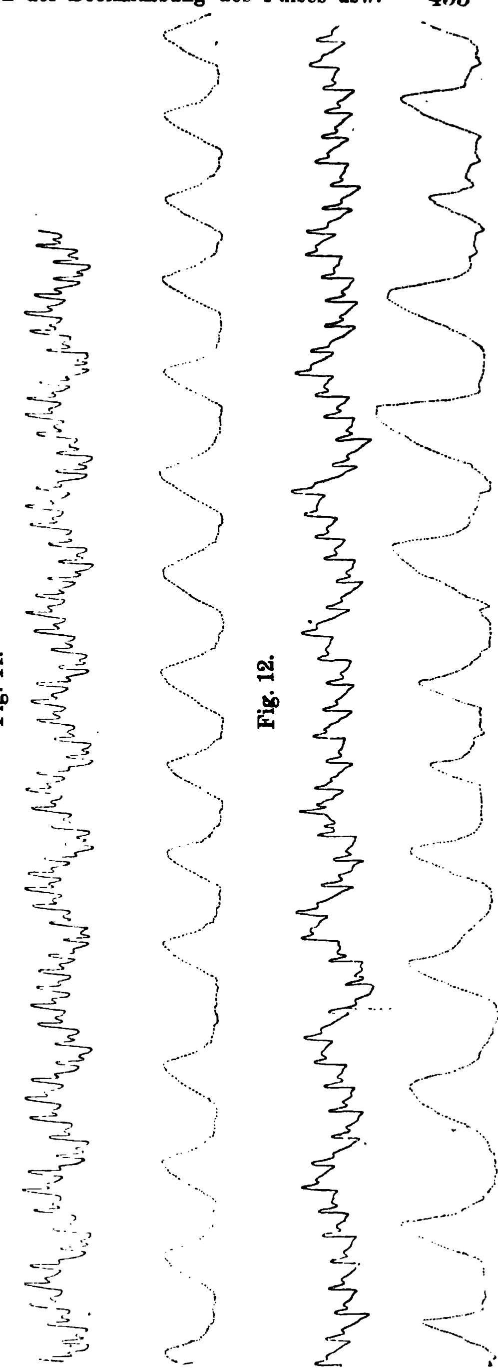


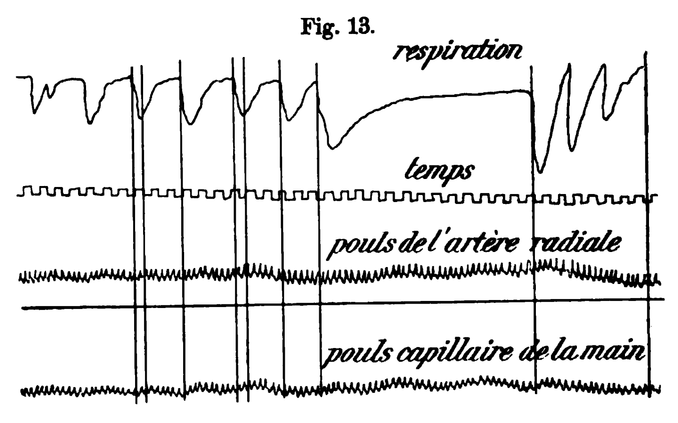
Fig. 11.

Fig. 12.

oder in Gemütsbewegung bestimmter Art« befindlich ist. Respirationsoszillationen (oscillations respiratoires) ist bei Lehmann der Ausdruck für die Erscheinung, die wir als plethysmographische Atemwelle bezeichnet hatten.

Es handelt sich um die in Fig. 11 und 12 erkennbaren, mit dem Atem parallel gehenden wellenartigen Niveauveränderungen, während wir für die plötzlichen Erhebungen und Senkungen in Fig. 5—10 schon Beispiele bei der Erörterung der Pulshöhenveränderung kennen gelernt haben. Auch Binet und Courtier (vgl. L'Année Psychologique, Bd. I. S. 278, II. S. 94, 109) kennen die Schwierigkeit, die Bewegungen auszuschalten, sehr wohl. Sie führen sie unter den Fehlerquellen auf, bemerken richtig, daß es sehr schwer ist, daß eine Versuchsperson sich ganz ruhig verhält, ja sie geben (II, S. 110) ein Beispiel, bei welchem die Oszillationen an dem mit dem Plethysmogramm gleichzeitig aufgenommenen arteriellen Druckpuls genau ebensogut zu erkennen sind (Fig. 13), wie bei dem

Fig. 13.



Volumpuls; alle diese schwerwiegenden Beobachtungen haben sie aber doch nicht an der Zuverlässigkeit der Methode zweifeln lassen, die sie in ganz ähnlicher Weise wie Lehmann verwendet haben.

Ist man erst einmal auf die Bewegungen aufmerksam geworden, und ist der Zweifel an der Reinheit der volumetrischen Beobachtungen rege geworden, so sind weitere Erfahrungen nur allzusehr geeignet, diese Zweifel zu bestärken. Auch ich hatte zuerst auf die Feststellung der plethysmographischen Erscheinungen besondere Sorgfalt verwandt, und eine große Anzahl der plethysmographischen Wellen, Steigungen und Senkungen, sind von mir gemessen und berechnet worden. Je länger je mehr konnte ich feststellen, daß alle diese Erscheinungen unter Umständen von Bewegungen abhängen. In der Tat stellt der Plethysmograph, so wie er von Lehmann benutzt ist, ein außerordentlich empfindliches Instrument für alle Druckänderungen dar. Lehmann hat in der Regel mit Absperrung des Wasserstandsgefäßes gearbeitet. Er selbst nennt die Anordnung nur unter dieser Bedingung Plethysmograph, während er bei geöffnetem Hahn der Verbindung mit dem Wasserstandsgefäß im Anschluß an Mosso von einem Hydrosphygmographen spricht (vgl. darüber v. Frey a. a. O., S. 59). Ist der Hahn geschlossen, so werden alle Druckveränderungen im Wasser um so stärker auf die Schreibkapsel wirken, da ein Ausweichen des Wassers nach der Flasche zu ausgeschlossen ist. Man kann dann leicht feststellen, daß auch die geringste Bewegung, sei es auch nur die versuchte Bewegung eines Fingers, einen starken Ausschlag des Hebels oder eine mehr oder weniger starke Niveauerhebung der Kurve hervorruft. Wendet man die oben von Lehmann angegebenen Mittel an und sucht den Arm möglichst fest in den Zylinder einzupressen, so fest, »daß man auch mit der größten Anspannung keine willkürliche Bewegung ausführen kann«, so genügt trotzdem der Versuch einer solchen Bewegung vollständig, um eine Wasserstandsveränderung zu erzielen. Da bei den Kontraktionen der Muskeln diese keine Volumvergrößerung, sondern

eine Volumabnahme erfahren, kann diese einer Volumvergrößerung entsprechende Wasserverdrängung nur Folge der auch unter solchen Umständen entsprechenden Bewegungsantriebe, nicht eine Folge einer wirklichen Volumvermehrung sein. Dabei wird einmal die Intendierung der Kontraktion selbst, sodann die durch die Anstrengung ermöglichte stärkere Hineinpressung des Gliedes in den Zylinder eine Rolle spielen. So stellt sich der Sachverhalt dar, wenn man willkürliche Anstrengungen des Armes macht, um die Folgen für die Versuchskurven zu untersuchen. Sind also mit den Versuchsumständen, wie oben hervorgehoben, unwillkürliche Bewegungen notwendig verbunden, so wird man kaum umhin können, diese Bewegungen für die regelmäßigen und unregelmäßigen Niveau-Erhebungen und Senkungen der Kurven mit verantwortlich zu machen. Eine Aufforderung an die Versuchspersonen, sich möglichst ruhig zu verhalten, kann aus dem gleichen Grunde, weil es sich um unwillkürliche Bewegungen handelt, von einem Erfolge nicht sein.

Trotz aller dieser Einwände kann man im Prinzip die Möglichkeit zugeben, daß mit der plethysmographischen Methode eine Feststellung über den Einfluß psychischer Reize auf die Volumveränderungen erfolgen kann. Es ist aber auffallend, daß ein sicheres Beispiel einer solchen Funktion unter Umständen, in welchen Bewegungen wenigstens unwahrscheinlich sind, aus den bisherigen Versuchen nicht vorliegt. Wir sahen oben schon, daß nach Lehmann die Respirationsoszillationen ein Zeichen der Schläfrigkeit oder eines bestimmten Affekts seien. Eine merkwürdigere Funktion ist kaum in der Phantasie zu schaffen. Wir ersehen (S. 116), daß bei der Unlust das Volumen sich stark verringert, daß es aber dann wieder steigt und die Norm wieder erreicht. Wir hören (S. 140), daß die Lust eine bedeutende Zunahme des

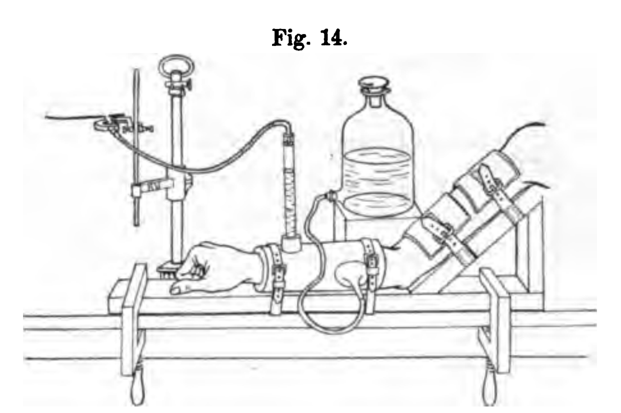
Armvolumens erzeugt, daß diese Zunahme aber auch eine sehr geringe sein kann, wenn die stets zur Erklärung hilfsbereite Spannung zugleich vorhanden ist. Das sieht nicht nach einer eindeutigen Funktion aus. Wohl aber erklären die Erscheinungen sich außerordentlich glücklich durch die Annahme, daß es sich dabei um Bewegungen handelt. Die Respirationsoszillationen treten bei den ruhigen Atemzügen des Schläfrigen und den tieferen des Erregten besser hervor. Unlust und Lust sind mit Zuständen verknüpft, welche mit entgegengesetzten Bewegungsformen in natürlicher Weise verbunden sind. Die Unlust führt zu einer Rückzugs-, die Lust zu einer Angriffsbewegung; darum sinkt im ersten Falle der Wasserstand, während er im zweiten Falle steigt. Solche Bewegungen sind keine konstanten Folgen der Reize, daher treten die Erscheinungen auch wieder zurück. Verfolgt man die von Lehmann beschriebenen plethysmographischen Erhebungen und Senkungen unter diesem Gesichtspunkte, indem man sie als Ausdrucksbewegungen auffaßt, so behalten sie nichts Unerklärliches und Unverständliches. Eine Volumsenkung kam vor beim Riechen auf Ammoniak, beim Erschrecken, dem dann Steigen folgt, bei der Spannung, bei Unlust, bei der Furcht. In allen diesen Fällen ist eine zurückziehende Bewegung nicht unnatürlich. Volumsteigung wurde beobachtet bei lustvollen Reizen, beim ersten Stadium der Aufmerksamkeit, bei Aufhebung der Spannung. Nichts natürlicher, als daß in diesen Fällen entweder eine primäre Stoßbewegung erfolgt oder eine schon vorhandene Rückzugsbewegung nachläßt. So stimmen denn also auch die Ergebnisse viel besser zu der Bewegungstheorie, als zur Volumentheorie. Ein anderes ist es freilich, eine derartige, der gewöhnlichen Auffassung in das Gesicht schlagende Hypothese wahrscheinlich machen, ein anderes, sie zur Gewißheit erheben.

Eine wirkliche Klarheit der Sachlage hoffte ich zu erzielen, falls es gelänge, den untersuchten Arm wirklich festzulegen, so daß keine Bewegung erfolgen kann, und die unter solchen Umständen erlangten Ergebnisse mit den bisherigen zu vergleichen. Sind die Bewegungen, so war die Überlegung, durch die Versuchseinrichtung selbst wirklich ausgeschlossen, so würde in dem Falle, daß dann auch die plethysmographischen Erscheinungen fortfallen, die Bewegung als Ursache dieser Erscheinungen bei den bisherigen Versuchen nachgewiesen sein. Bleiben die plethysmographischen Erscheinungen trotz des Fortfalls der Bewegungen bestehen, so ist die obige Kritik zu weit gegangen. Bei den gleich zu schildernden Versuchen, die zu diesem besonderen Zwecke angestellt wurden, und zwar nachdem die meisten der später zu erörternden Versuche schon abgeschlossen waren, hat sich kein reines Ergebnis erzielen lassen. Es hat sich als unmöglich herausgestellt, die Bewegungen ganz auszuschließen. Trotzdem scheinen mir die Versuche geeignet zu sein, die geltend gemachten Bedenken gegen die plethysmographische Methode zu bestätigen und eine gewisse Sicherheit über die Lage der Dinge zu gewinnen. Man urteile selbst.

Als Mittel zur Beseitigung der schlimmsten Übelstände dienten im wesentlichen zwei Maßnahmen. Ist der ganze Unterarm in dem Zylinder des Plethysmographen eingeschlossen, also auch die Hand, so bestehen der Bewegungsmöglichkeiten außerordentlich viele. Für den Versuch genügt es vollkommen, den Unterarm allein zu untersuchen. Es wurde daher eine der Versuchsperson angepaßte, an beiden Seiten offene Blechmanschette, welche für die Verbindung mit dem Wasserstandsglas und dem Manometer wie sonst hergerichtet war, über den Arm gezogen und an den beiden offenen Seiten abgedichtet. Die Anordnung geht aus der Zeichnung Fig. 14 hervor. Von

der Lehmannschen Einrichtung unterschied sich diese also nur durch die größere Kürze des Zylinders. Eine gewisse Schwierigkeit macht das Abdichten der offenen Seiten am

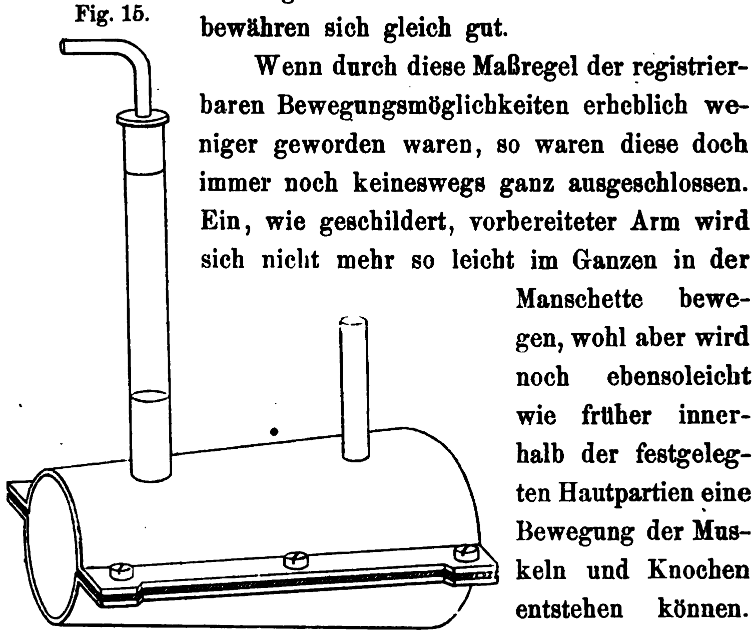
Fig. 14.



Handgelenk und Ellenbogen, welches durch das Fortfallen des Gummisackes nötig wird. Es wurden die verschiedensten Mittel angewendet, die keinesfalls alle gleich gut sich erwiesen. Zuerst versuchten wir es mit chirurgischen Heftpflasterbinden (Leukoplast und Kautschukpflaster, 4 cm und 7 cm breit), im Verein mit Klebewachs. Die Binden durchziehen sich aber doch allmählich mit Wasser, das schließlich anfängt durchzusickern. Dabei wird der Zustand der im Manometerrohre befindlichen Luft beeinflußt. Ein Gemisch von Wachs und Paraffin dichtet bei weitem besser. Am besten jedoch bewährte sich der gewöhnliche Glaserkitt. Man muß nur Sorge tragen, daß an den abzudichtenden Stellen nicht zu viel Raum bleibt, was durch einen übergreifenden Rand der Manschette zu erreichen ist. Auch darf man den Kitt nicht zu gewaltsam in die Lücken streichen, weil sonst ein Druck auf den Arm ausgeübt wird, welcher den Abfluß des Venenblutes störend beeinflussen könnte. An Stelle der Manschette wurden auch zwei Schienen benutzt aus Eisen (Fig. 15), welche fest

aufeinander geschraubt wurden, nachdem ein Lederstreifen, wie sie von den Wasserinstallateuren benutzt werden, zwischen die aufeinander passenden Flächen eingelegt war. Beide Einrichtungen kommen auf dasselbe hinaus und bewähren sich gleich gut.

Fig. 15.



Wenn durch diese Maßregel der registrierbaren Bewegungsmöglichkeiten erheblich weniger geworden waren, so waren diese doch immer noch keineswegs ganz ausgeschlossen. Ein, wie geschildert, vorbereiteter Arm wird sich nicht mehr so leicht im Ganzen in der Manschette bewegen, wohl aber wird noch ebensoleicht wie früher innerhalb der festgelegten Hautpartien eine Bewegung der Muskeln und Knochen entstehen können. Es wurde daher dazu geschritten (s. Fig. 16), den in der Manschette oder Schiene befindlichen Arm nebst Hand in Gips zu legen und so womöglich die Bewegung des ganzen Gliedes zu hindern. Die Photographie stammt von dem ersten der so angestellten Versuche; bei den späteren wurde die Methode noch wesentlich verbessert, indem der fertig zugerichtete Arm in einen geeigneten Holzkasten eingebettet wurde, der dann bequem bis obenhin, bis in die Gegend des Schultergelenkes, mit Gips ausgegossen wurde. Der Versuch war langwierig, so daß er nur dreimal wiederholt werden konnte. Wichtig ist, den einzugipsenden Arm vorher mit einer Fettsubstanz, oder

besser grüner Seife, einzureiben, damit der Gips sich beim Abmontieren leicht von den Haaren löst. Bei längerem Verweilen in der Versuchslage stellen sich schließlich für die Versuchsperson unangenehme und belästigende Beschwerden ein,

Fig. 16.



während anfangs das Befinden nicht beeinträchtigt wird. Daß der Arm eingeschlafen wäre, oder daß sonst Störungen der Blutzirkulation bemerkt wären, ist nicht vorgekommen.

Von den unter Anwendung der geschilderten beiden Hilfsmittel angestellten Versuchen geben die folgenden Kurven eine Darstellung. Zuerst (Fig. 17 bis 19) seien die ohne Anwendung von Gips erhaltenen Kurven mitgeteilt unter der Bezeichnung Schienenversuche, da in diesem Falle nicht die oben abgebildete Manschette, sondern die ebenfalls erwähnten Schienen benutzt waren. Der Arm war bei diesen Versuchen auf ein Gestell gelagert, wie es aus Figur 14 ersichtlich ist.

Unter Fig. 17 sind die ersten so angestellten Versuche wiedergegeben, bei denen sich die plethysmographischen Erscheinungen noch kaum von den sonst erhaltenen unterscheiden. Man erkennt leicht die Atemwelle. Auch findet sich in Kurve 3 anfänglich eine geringe Steigung des Niveaus beim Rechnen, eine Erscheinung, die unter den gleichen Bedingungen in Kurve 2 vollständig fehlt. Wer sich gewöhnt hat, derartige Unterschiede auf psychische Ursachen zu beziehen, wird annehmen müssen, daß die Versuchsperson etwa im einen Falle einen Nebengedanken gehabt hat oder in einer nicht vorgesehenen »Spannung« sich befand, die im andern fortfiel. Ich gebe der Vermutung den Vorzug, daß die Steigung Folge eines geringen Druckes nach vorwärts gewesen ist, welcher bei 2 fortfiel. Die Atemwelle ist in beiden Fällen des Rechnens geringer, sie fällt in 2 fast fort. Beim Rechnen ist der Atem in der Regel bedeutend flacher, auch geschwinder, als in der Ruhe (vgl. S. 490 ff.), daher der Unterschied gegen die Norm.

Fig. 17.

Die unter Fig. 18 und 19 zusammengestellten Kurven

Fig. 18.

1. Normalkurve
2.
17.24
Rechnen
3. Normalkurve
4.
59.36
Rechnen

Fig. 19.

1 Normalkurve
2
Rechnen
3. Normalkurve
4.
Rechnen

zeigen viel geringere plethysmographische Erscheinungen. Hier war der Oberarm durch mehrere Lederschnallen an seine Unterlage fest angeschnürt, um die Beweglichkeit zu vermindern. Kurve Fig. 18, 1 zeigt noch einigermaßen starke Erhebungen der plethysmographischen Atemwelle, die beim Rechnen Fig. 18, 2 und 4 wieder fast ausfallen. Die Lücken der Kurve sind dadurch entstanden, daß der Schreiber etwas zu lose an der Trommel anlag. Man tut aber im allgemeinen gut, das Minimum der Reibung durch die Einstellung zu erstreben, selbst wenn einmal ein derartiger Fehler die Folge sein sollte (vgl. v. Frey a. a. O., S. 59).

Die Kurven in Fig. 19 unterscheiden sich von denen in Fig. 18 durch den Umstand, daß der Hahn des Wasserstandsglases bei diesen Versuchen geöffnet war. Die durch den Volumdruck bzw. die ruhigeren Bewegungen des Atems entstehenden Beeinflussungen des Wassers können sich dann seitlich ausbreiten, das Instrument nimmt bedeutend an Empfindlichkeit für solche Einflüsse ab. Die Kurven sind noch regelmäßiger als die früheren.

Es folgt unter Fig. 20 bis 24 eine vollständige Reihe der an einem Tage aufgenommenen Kurven, bei welchen der Arm der Versuchsperson in der geschilderten Weise vollständig in Gips eingebettet war. Eine unregelmäßige Volumsteigung kommt hier nicht mehr vor, eine solche ist überhaupt nicht bei den Gipsversuchen mehr zur Beobachtung gelangt. Die plethysmographischen Erscheinungen bestanden nur noch in den Atemwellen, welche sowohl in den Normalkurven, als auch teilweise bei geistiger Tätigkeit vorhanden sind, allerdings verhältnismäßig schwach.

Das zunächst überraschend und befremdlich erscheinende Resultat der Kurven in Fig. 20 war also, daß trotz der angewendeten Maßnahmen gegen die Bewegung die plethysmo-

Fig. 20.

1. N=K.
2. N=K.
3. N=K.
4. N=K.
5.

Fig. 21.

1
starke Atmungsbewegung

2.
Muskelcontraction. drehen nach innen
Stoß nach vorn
Zurückziehen
starke Einatmung

graphischen Erscheinungen regelmäßiger Art, die plethysmographische Atemwelle, nicht aufhörten. Es wurde daher an diesem Tage, nachdem wir das gleiche Ergebnis schon einmal erhalten hatten, mit Versuchen eingesetzt, welche die absolute Bewegungsmöglichkeit des eingeschlossenen Gliedes und den Einfluß solcher Bewegungen auf den Schreiber festzustellen hatten. Es zeigte sich sofort bei der ersten auf Anforderung des Versuchsleiters erfolgenden willkürlichen Atembewegung (Fig. 21, 1), daß eine Übertragung auf den Schreibapparat stattfand. Eine ganze Reihe kurzer willkürlicher Bewegungen (Fig. 21, 2), wie eine Kontraktion der Armmuskeln, ein Drehen des Armes nach innen, ein Stoß nach vorn, ein Zurückziehen, eine starke Einatmung, hatten die gleiche Wirkung. Auf der nächsten Trommel (Fig. 22, 1) wurde eine Kurve aufgenommen, bei welcher die Versuchsperson den Arm auf Kommando langsam nach vorn zu drücken und dann zurückzuziehen hatte. Die Kurve bietet alle charakteristischen Eigenschaften der entsprechenden volumetrischen Kurven dar. Endlich (Fig. 23, 3 und 4) wurde noch gerechnet und gezählt. Die Atemwelle ist auch hier noch zu erkennen, wenn auch beim Zählen, bei welchem die Atemzüge sehr viel kürzer und oberflächlicher waren, außerordentlich schwach. Die Schlußkurven (Fig. 24) zeigen die geringsten plethysmographischen Erscheinungen, trotz der Unlust, welche sich inzwischen eingestellt hatte. Es fehlen je länger je mehr die ruhigen tiefen Atemzüge, welche die einfachste Ursache der plethysmographischen Welle sind. Dabei ist zu bemerken, daß die bei diesen Versuchen fungierende Versuchsperson (Mi vgl. S. 479 ff.) sich durch ganz besonders langsame und tiefe Atemzüge überhaupt auszeichnet. Es kommen bei ihr normalerweise neun Pulse und darüber auf die einzelne Atemperiode. Auch ist die Neigung zum Tiefatmen durch systematische

Fig. 22.

1. langsames Stoßen u. Zurückziehen auf Kommando.

2. N K.

Fig. 23.

1. willkürl. Atmungsbewegungen. +

2. N=K.

3.

48.32.

Rechnen

4.

Störung

Zählen von kleinen Buchstaben

Arretierung



Fig. 24.

Fig. 25.

Fig. 26.

Atemübungen in der Jugend verstärkt worden. Die plethysmographischen Erscheinungen würden bei andern Versuchspersonen aller Wahrscheinlichkeit nach viel geringer ausgefallen sein. Während die Kurven unter Fig. 20 bis 24 bei geschlossenem Hahn genommen waren, sind die in Fig. 25 noch mitgeteilten, sonst unter gleichen Bedingungen entstandenen bei geöffnetem Hahn aufgeschrieben. Hier fallen die plethysmographischen Erhebungen vollständig fort; die noch vorhandenen regelmäßigen Niveauunterschiede sind nur noch auf die Größenunterschiede des Stoßes zurückzuführen, von welchen die Pulsschwankungen abhängen.

Die in Fig. 26 gebotene Kurve habe ich nur hinzugefügt, weil es sich hier um eine Luftpulskurve handelt, welche aufgenommen wurde, nachdem bei einem ersten mißglückten Gipsversuch das Wasser vollständig aus dem Plethysmographen ausgeflossen war. v. Frey äußert sich hierüber (a. a. O., S. 59): »Trotz der oben geäußerten Bedenken scheint mir die Darstellung von Volumpulsen unter Benutzung der registrierenden Luftkapsel und ausschließlicher Luftfüllung des Apparates ausführbar«, und er bemerkt vorher (S. 58), daß die Druckschwankungen, wenn man das Wasser ganz fortläßt, am geringsten werden; es würden dann allerdings die Ausschläge des Hebels des Tambours klein und die Reibung leicht störend. Die Kurve zeigt, daß eine Luftübertragung sehr wohl anwendbar ist und auch zu deutlichen und hinreichend großen Aufzeichnungen führt.

So weit die Versuche selbst. Was folgt aus ihnen für unsere Frage? Zunächst zweierlei, erstens, daß, je mehr die Bewegungen und die Bewegungsmöglichkeiten des auf den Volumpuls untersuchten Gliedes ausgeschlossen werden, um so geringer, unerheblicher die plethysmographischen Erscheinungen werden, und zweitens, daß unter diesen nur noch die regel-

mäßige plethysmographische Welle bestehen bleibt, während die unregelmäßigen Steigungen und Senkungen fortfallen. Daraus folgt aber nach meiner Meinung mit Sicherheit weiter, daß die mit der plethysmographischen Methode gemessenen Volumschwankungen nicht reine Volumschwankungen sind, sondern zum Teil als Folgen von Bewegungen aufgefaßt werden müssen. Es bleibt ein Zweifel, in welchem Grade dies der Fall ist. Für die Psychologie folgt aber, daß die plethysmographische Methode zur Zeit völlig ungeeignet ist, um durch Untersuchung der Volumschwankungen einen Einblick in die etwaigen Wirkungen psychischer Reize auf den Blutumlauf zu gewinnen, daß also dies Moment aus der Analyse der gewonnenen Kurven vorläufig auszuschalten ist.

Für unsere Zwecke genügt das. Lehmann hat in nicht seltenen Fällen ein so starkes Sinken des Volumens beobachtet, daß er ein im Schlauch zum Wasserstandsglas befindliches Ventil mehrere Male, zuweilen viele Male hintereinander öffnen mußte, um den Schreibhebel wieder in eine zum Schreiben geeignete wagerechte Lage zu bringen. Rechnen wir die in jedem einzelnen Falle der Ventilöffnung verdrängte Wassermenge 1 ccm (so viel würde sie bei der Lichtweite unseres Steigrohres etwa wenigstens betragen haben), so ergäbe sich eine Volumveränderung des Armes von mehreren bis etwa 10 ccm. Eine solche Veränderung müßte wenigstens in günstigen Fällen, auch mit den gewöhnlichen Mitteln der Wahrnehmung, mit den Augen erkennbar sein. Bringen Erregungen derartige Schwellungen und Zusammenziehungen hervor, so würde wahrscheinlich von jeher zu den die Affekte bezeichnenden Ausdrücken »er ist blaß vor Ärger, rot vor Wut« u. dgl. — der Ausdruck »sein Arm war geschwollen vor Lust« oder ähnliches gehört haben.

Der Versuchung, auf das eigentlich physiologische Gebiet

hier überzutreten, so stark sie auch sein mag, ziehe ich vor auszuweichen. Nur auf die allgemeine Schwierigkeit möchte ich hinweisen, daß die vielen mechanischen Momente des Atemvorganges, welche als Ursache der früher erwähnten Unterschiede der Pulshöhen angesehen zu werden pflegen und angesehen werden müssen, für die Entstehung der plethysmographischen Welle nur dann in Anspruch genommen werden dürfen, falls die Größe und Art dieser Erscheinung in ihnen eine Erklärung finden würde. Weist man auf die Traube-Heringschen Schwankungen hin, deren Ursache in Erregungsschwankungen des vasomotorischen Zentrums gesucht wird, so soll bei diesen mit der Exspiration der Blutdruck steigen, mit der Inspiration fallen. Dem entspricht nicht das plethysmographische Bild. Kurz, mir scheint hier ein Rätsel vorzuliegen, dessen Lösung sehr einfach sich gestalten würde, falls die Bewegungen jene plethysmographischen Erscheinungen nicht bloß beeinflussen, sondern vielmehr erzeugen sollten.

Lebhaft wäre zu wünschen, daß es gelänge, Methoden zu finden, welche über die vielen unwillkürlichen Bewegungen, die fortwährend auch unter psychischen Einflüssen stattfinden, uns exakte Auskunft verschaffen könnten. Den verdienstlichen und ingeniös ausgedachten dreidimensionalen Apparat von Sommer halte ich nach einigen damit gemachten Erfahrungen nicht für feinfühlig genug. Und das ist denn auch der sich überall auf diesem Gebiete aufdrängende Eindruck: die natürlichen Verhältnisse eines noch so einfachen Affekts sind doch erheblich feiner und verwickelter, als daß wir sie mit unsern Mitteln im einzelnen schon zu zergliedern verständen.

II.

Es folgen die eigenen Versuche. Benutzt wurden ausschließlich die nach längeren Vorversuchen erhaltenen Kurven, bei denen die Methode keinen Bedenken mehr ausgesetzt schien. Fortgelassen wurden nur aus technischen Ursachen mißratene Blätter, oder solche, welche an sich kein Interesse zu haben schienen. Bei der Wahl zwischen der Möglichkeit, die Kurven selbst oder eine Bearbeitung ihres Inhalts zu publizieren, wurde der letztere Weg vorgezogen. Die Kurve selbst spricht nur zu dem sehr Kundigen und auch zu diesem nur eine unvollkommene Sprache. Gerade auf die Gleichartigkeit der Ergebnisse, auf die Übereinstimmung der untersuchten Fälle einer bestimmten Art in den für sie charakteristischen Eigenschaften kommt es an. Es gilt, die Berechnung so einzurichten, daß in den Maßzahlen die besonderen Eigentümlichkeiten der Erscheinungen möglichst klar hervortreten. Man braucht dann nur einen Blick auf die Vorzeichen einer Reihe zu werfen, um zu wissen, ob es sich um Ergebnisse von funktionsartigem Charakter handelt oder nicht. Dies Ziel ist bei der Vielgestaltigkeit des Materials nur unvollkommen zu erreichen.

Was das Maß betrifft für alle folgenden Zahlen, so hatte unsere Kymographiontrommel (Baltzar) einen Umfang von 50 cm. Die Umdrehungsgeschwindigkeit betrug stets 50 Sekunden, sie wurde vor und nach den Versuchen eines Tages jedesmal nachgeprüft. Das gemessene Zentimeter ist also gleich der Sekunde, und die Zahlen für die Längenangaben sind nach Belieben zugleich als Zeiten (Sekunden) zu lesen. Die übrigen Werte sind Zentimeter.

Bei der Bearbeitung wurden unter die Kurven in der Höhe der Anfangsstellung der Schreiber gerade Linien gezogen, welche also normalerweise die Fußpunkte der Atem- und Pulsbilder berührten. Sie dienten zur Ermittelung der Höhen und Längen. Bei plethysmographischen Erhebungen und Senkungen der Pulskurve mußten die Pulshöhen mit Rücksicht auf diese besonders bestimmt werden. Für den Durchschnittswert der Pulslängen dienten die Projektionen der Einzelpulse auf die Grundlinie.

Im einzelnen. Bei der Atmung (A.) wie beim Pulse (P.) ist unter Länge ein Durchschnittswert aus allen für diese Strecke vorhandenen Einzellängen der Atemzüge und Pulse gegeben. Die Zahl in der eckigen Klammer gibt die Zahl der benutzten Einzelwerte an. Unter Höhe (H.) sind bei der Atmung und beim Pulse zwei Werte verzeichnet, der größte und der kleinste der gemessenen Reihe (zu lesen also beispielsweise 0,8—1,1 als 0,8 bis 1,1). Wo nur ein Wert sich vorfindet, war die Abweichung der einzelnen voneinander zu unbedeutend, um verzeichnet zu werden. Für die Atemzüge folgt aus dem Vergleich der Werte unter Länge und Höhe ein schon volleres Bild der Atembewegung, zumal die Abweichung einer Reizkurve von den überall voranstehenden Normkurven einen weiteren Schluß auf die Form der Kurven gestattet. Der Versuch, durch kurze Angaben über diese Formen (breit, spitz, tief) die Zahlenangaben zu vervollständigen, befriedigte wenig und wurde aufgegeben. Dagegen wurde ein Maß der Atempause hinzugefügt, welche für die Form besonders charakteristisch ist. Es ist das zugleich ein teilweiser Ersatz für das Fehlen der abdominalen Atmung, die ja, wie Meumann und Zoneff betonen, anders verläuft als die thorakale. Immer bleibt aber die Atemkurve ein sehr unvollkommenes Bild des wirklichen, aus zahlreichen Einzel-

bewegungen sich zusammensetzenden Atemvorganges. Auf die Natur des ganzen Prozesses läßt die Art der Atempause häufig genug einen Schluß zu. Fehlt z. B. die Atempause bei nicht zu hohen Atemwellen, so wird der Atemprozeß mehr oberflächlich und thorakal verlaufen. Sind die Atemzüge tief, so ist bei größerer Atempause eine starke Beteiligung der abdominalen Partien anzunehmen. Besonders auffallende Erscheinungen sind in den Bemerkungen hinzugefügt.

Auch die Höhe des Pulses (P. H.) ist im Maximum und Minimum angegeben, und auch hier beziehen sich diese Zahlen auf die ganze berechnete Strecke. Daß diese Höhenangaben keinen weiteren Schluß auf die absolute Pulsgröße gestatten, daß infolge des leicht eintretenden Schleuderns der Schreiber diese Zahlen nur einen begrenzten Wert beanspruchen dürfen, ist von anderer Seite mehrfach hervorgehoben. Da die mechanischen Schwierigkeiten innerhalb geringerer Zeitunterschiede als gleich angesehen werden können, hat die Feststellung über das Wachsen und Abnehmen der Pulshöhen aber doch den Wert einer wenn auch ungenauen Angabe über die relative Änderung der Pulsgröße. Unter der Rubrik Schwankungen (ebenfalls zu lesen 0,7—0,9 als 0,7 bis 0,9) finden sich zwei Zahlen, von denen die eine den längsten, die andere den kürzesten der Pulse der betreffenden Strecke angibt. Aus dem Vergleich mit dem Durchschnittswert unter Länge kann man sich eine etwas deutlichere Vorstellung über die Pulsformen machen.

Eine genaue Messung und Analyse würde sich sowohl beim Atmen wie beim Pulse auf die größeren Feinheiten der Form beziehen müssen. Indessen sind die Methoden, wie wohl kaum bestritten werden wird, hierfür noch nicht als empfindlich genug anzusehen.

Als Beobachter haben außer dem Verfasser (Ma) von damaligen Mitgliedern des psychologischen Seminars die Herren

Minnemann (Mi), Carstensen (C), Lienhop (L), Hüttner (H) und Herr Tormählen (T) gedient. Herr Minnemann, seither Assistent des Seminars, hat sich als steter Gehilfe bei den Versuchen selbst und bei Ausrechnung der Kurven um diese Untersuchung verdient gemacht.

Ich gebe zuerst die Gesamttabellen über die Versuche, wie sie aus der Bearbeitung entstanden sind. Jeder Reizkurve geht die entsprechende Normalkurve (N.-K.) voraus. Auch nach der Reizeinwirkung sind häufig wieder Normalkurven zum Vergleich aufgenommen. Dauerte der Reiz nur kürzere Zeit, so ist der Teil der Kurve vor, während und nach der Reizeinwirkung besonders berechnet. Untersucht wurde 1. der Einfluß künstlicher Atembeeinflussung (Verlangsamung, Vertiefung, Beschleunigung) auf den Puls, 2. der Einfluß der mechanischen körperlichen Tätigkeit, 3. der der geistigen Tätigkeit, 4. der eines körperlichen Schmerzes, 5. der von Geruch und Geschmack, 6. derjenige von künstlich erzeugten Stimmungen auf Atem und Puls.

1. Künstliche Atemveränderungen.

a) Atemvertiefung.

b) Atembeschleunigung.

c) Verlangsamung der Atmung.

Tabelle I. Künstliche Atemveränderungen.

Nr.		Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
		a) Atemvertiefung.							
Mi	1a.	N.-K.	4,6 [5]	0,8—1,1	2,75	0,95 [24]	0,1—0,2	0,8—1,0	
	b.	Vertiefung (besonders der Exspiration)	3,5 [6]	1,7—7,0*	—	0,80 [24]	0,10—0,25	0,8—1,0	* Atmung tiefer werdend.
	2a.	N.-K.	4,45 [3]	1,4	1—2	0,95 [14]	0,25—0,35	0,85—1,0	
	b.	Vertiefung	4,68 [6]	6,5	1,8	0,80 [37]	0,25—0,35	0,75—0,85	
C	3a.	Vor Vertiefung	6,3 [3]	3,5	0—0,5	0,88 [21]	0,2—0,4	0,6—1,1	
	b.	Bei Vertiefung (stärkere Einatmung)	4,9 [5]	5,4	0—0,5	0,80 [36]	flach—0,6	0,6—1,1	
	4a.	Vor Vertiefung	5,9 [3]	2,4—3,5	—*	0,85 [20]	0,10—0,35	0,6—0,95	* Langsame Ausatmung.
	b.	Während Vertiefung	3,8 [7]	4,0—4,5	—	0,72 [36]	0,05—0,35	0,6—0,9	
H	5.	N.-K.	4,42 [9]	1,9	1,5	0,94 [43]	0,5—0,7	0,90—0,95*	* P.-S. oft kaum merklich.
	6.	Vertiefung der Atmung	3,81 [7]	über 4*	1,5	0,76 [35]	0,45—0,70	0,70—0,95	* A.-H. nicht ganz aufgezeichnet.
	7.	Starke Vertiefung	4,39 [9]	7,5	1,2	0,74 [53]	0,30—0,65	0,60—0,85	
	8.	Vertiefung	4,35 [5]	6,5	0,9	0,90 [24]	0,3—0,45	0,75—0,95	
L	9.	N.-K.	4,56 [10]	3,5*—6,3	1,8—2,2	0,85 [54]	0,75—1,0	0,8—0,9	* 3,5 Ausnahme.
	10.	Maximale Atemvertiefung	8,70 [3]	9,7—11,2	4.8 bzw. 5,2	0,83 [28]	0,60—0,75	0,8—0,9	
T	11a.	N.-K.	4,05 [4]	3,7—6,2	2,0—2,2	0,90 [18]	0,4—0,5	0,85—1,0	
	b.	Vertiefung	6,06 [4]	8,85	2,25—3,50	0,84 [29]	0,40—0,65	0,75—0,85	

b) Atembeschleunigung.

Mi	12.	N.-K.	5,5 [8]	2,1	2,4—3,2	0,82 [53]	0,2—0,4	0,7—0,9	
	13a.	N.-K.	6,4 [1]	2,1	2,4	0,80 [8]	0,32—0,45	0,75—0,90	
	b.	Etwas beschleunigt	2,93 [10]	2,4	ca. 1	0,72 [29]	0,35—0,40	0,7—0,7	
	14a.	N.-K.	4,0 [3]	2—2,5	1,5—2	0,74 [16]	0,3	0,7—0,8	
	b.	Ziemlich stark beschl.	0,72 [28]	0,7—1,7	—	0,80 [24]	0,3—0,4	0,7—0,9*	* Keine eigentlichen P.-S.
	c.	Nachher	4,1 [2]	2,2	2,0	0,80 [10]	0,20—0,25	0,7—0,9	
	15a.	N.-K.	5,0 [2]	2,0	1,2—1,5	0,92 [12]	0,25	0,9—1,1	
	b.	Stark beschleunigt	zu niedrig, nicht zu zählen			0,79 [15]	0,2—0,4	0,6—0,9*	* Keine eigentlichen P.-S.
	c.	Wenig beschleunigt	1,3 [6]	1,0—1,8	—	0,87 [9]	0,25—0,40	0,80—0,95	
C	16.	N.-K.	7,4 [6]	4,6—5,7	1,5—1,9	0,74 [54]	0,45—1,0	0,6—0,95	
	17a.	Vor Beschleunigung	6,9 [2]	4,5—4,6	—	0,83 [14]	0,3—0,6	0,7—1,0	
	b.	Während Beschleunigung	1,1 [22]	2,4—3,0	—	0,68 [37]	0,4—0,6	0,65—0,7	
	c.	Nach Beschleunigung	6,0 [1]	5,0	—	0,75 [8]	0,5—0,9	0,65—0,8	
	18a.	Vor Beschleunigung	8,7 [2]	4,3—5,5	1,6—2,5	0,89 [19]	0,1—0,4	0,7—1,0	
	b.	Während Beschleunigung	0,52 [35]	2,0	—	0,67 [27]	0,1—0,5*	0,6—0,8†	* P.-H. gegen Ende niedriger, nach Beschleunigung viel höher (0,65) u. deutlich länger. † P.-S. hört gegen Ende auf.
	19a.	Vor Beschleunigung	7,3 [1]	5,2	1,5	0,88 [9]	0,15—0,40	0,7—1,0	
	b.	Während Beschleunigung	0,53 [32]	1,0—2,5	—	0,69 [23]	0,6*	0,7	* P.-H. teils höher, teils niedriger wegen unregelmäßiger Welle.
H	20.	N.-K.	4,61 [10]	1,5—1,8	1,8	0,90 [46]	0,6—0,7	0,85—0,95	
	21.	Stark beschleunigt	0,52 [62]	schwankend, meistens niedriger*	—	0,84 [38]	0,4—1,1	0,8—0,85**	* seufzerähnliche Vertiefungen. ** P.-S. in längeren Perioden.
	22.	N.-K.	3,87 [11]	1,7	1,5—2,0	0,95 [46]	0,55	0,9—1,0	
	23.	Mäßig beschleunigt	1,58 [20]	1,7—2,7	—	0,94 [34]	0,25—0,70	kaum vorhanden	

Tabelle I (Fortsetzung).

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
L 24.	N.-K.	3,57 [12]	5,15—6,85	ca. 1,5	0,86 [50]	0,65—0,90	0,8—0,9	
25a.	N.-K.	3,80 [5]	4,5—5,7	1,5—1,7	0,86 [22]	0,75—0,95	0,8—0,9	
b.	Beschleunigung nach Metronom 120	0,99 [24]	4,0—5,5	—	0,88 [27]	0,75—1,0	0,8—0,9	
26a.	N.-K.	3,87 [7]	5,0—7,5	1,5—1,8	0,87 [31]	0,8—1,0	0,85—0,9	
b.	Beschleunigung nach Metronom 200	0,55 [30]	2,2—5,0	—	0,86 [20]	0,7—1,3	0,85—0,9	
T 27.	N.-K.	4,17 [11]	3,55—6,10	2,0—2,5	0,84 [55]	0,45—0,55	0,80—0,95	
28a.	Beschleunigung nach Metronom 120	1,03 [44]	ca. 3,0 anfangs bis 5,3	—	0,72 [63]	0,4—1,0*	0,70—0,75	* Pulsschreiber hat etwas leichter angelegen.
b.	N.-K.	4,47 [4]	2,8—5,2	1,8—2,5	0,87 [20]	0,30—0,35	0,85—0,95	
c.	Beschleunigung nach Metronom 120	1,02 [22]	2—7,2*	—	0,84 [27]	0,25-0,35†	0,8-0,85	* Schwankend, besonders wegen Schleuderung. † P.-H. gegen Ende zunehmend.
Ma 29.	N.-K.	3,1 [15]	1,3	—	0,66 [68]	0,6—1,2	0,6—0,9	
30a.	Vor Beschleunigung	3,4 [3]	1,2	—	0,64 [16]	0,6—0,9	0,6—0,7	
b.	Während Beschleunigung	1,4 [18]	0,7	—	0,68 [32]	0,6—0,9	0,6—0,7	
c.	Nach Beschleunigung	3,0 [3]	1,2	—	0,69 [13]	0,6—0,9	0,6—0,7	
		c) Verlangsamung der Atmung.						
L 31.	N.-K.	3,75 [12]	7,3—9,0	1,9—2,2	0,83 [55]	0,8—1,2	0,8—0,85	
32a.	N.-K.	4,60 [3]	9,1	2,2—2,5	0,82 [17]	0,75—1,1	0,8—0,85	
b.	Langsame Atmung	14,6 [2]	8,2—9	7,5—8,0	0,84 [34]	0,75—1,25	0,75—1,0	

2. Mechanische körperliche Tätigkeit.

Bei diesen Versuchen hatte die Versuchsperson, wie gewöhnlich, den einen (rechten) Arm im Plethysmographen, der andere (linke) Arm war in den Mossoschen Ergographen (Abb. bei Wundt, Physiol. Psychol. 5. Aufl. Bd. II, S. 280) geschnallt, der in möglichst bequemer Weise auf einem zweiten Tisch aufgestellt war. Benutzt wurden für die Hebungen (mittels des großen Fingers) die Gewichte 2004 g und 5983 g. Die Hebungen selbst wurden teils in willkürlicher Folge, teils in einem nach den Schlägen eines Metronoms sich richtenden Rhythmus ausgeführt und in der Regel nicht über die etwa eintretende Ermüdung hinaus fortgesetzt. Dabei war das Heben des kleineren Gewichtes mit dem Gefühl der Leistung einer leichten Arbeit verbunden, während das große Gewicht von Anfang an eine gewisse erheblichere Anstrengung erforderte und leichter zur Ermüdung führte. Die bei solchen Hebungen, besonders beim größeren Gewicht, nicht vermeidlichen Bewegungen des ganzen Körpers können nicht ohne stärkere Störungen der Schreibung der Puls- und Atemkurven bleiben. Es sind infolgedessen hier mehrmals die Höhen von Atmung und Puls ganz unberechnet geblieben, zuweilen auch in der Berechnung der Längen Lücken entstanden.

Tabelle II. Mechanische Tätigkeit.

Nr.	Bezeichnung	Atmung			Puls			Bemerkungen
		Länge	Höhe	Pause	Länge	Höhe	Schwankung	
Mi 33.	N.-K.	—	—	—	0,92 [46]	0,4—1,3	0,65—0,95	Atmung nicht registriert.
34.	46 Hebungen von 2004 g	6,3 [7]	2,1—2,8	Zuerst bis 5 cm, nachher kurz	0,86 [50]	0,4—0,8	0,7—0,9	Atem zuerst angehalten, zuletzt frei.
35.	65 Hebungen von 5983 g Starke Anstrengung	1,9 [8]	1,0—3,7	1,5—5,3 Zuerst 8 u. 7	0,78 [45]	0,35—0,60	0,7—0,8 bzw. 0	Atem zuerst stark verhalten, zuletzt Pause kurz.

Tabelle II (Fortsetzung).

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
Mi 36.	N.-K.	6,6 [7]	*	*	1,00 [42]	0,6—0,8	0,9—1,05	* Nicht ganz verzeichnet.
37.	Heben des ganzen Gewichts mit befreitem Finger	4,0 [10]*	0,8—2,4**	†	0,88 [48]	0,5††	—	Die Hülse f. den Finger hatte in Nr. 35 das Heben erschwert. * Zuerst 7 cm, zuletzt kurz. ** Atemniveau zweimal negat. † P. unsicher. †† Teils höher, teils tiefer wegen unregelmäßiger Welle.
38.	N.-K.	5,8 [9]	*	—	1,0 [46]	0,4—0,7	0,85—1,10	* Atmung nicht ganz verzeichnet.
C 39.	N.-K.	9,9 [4]	4,8 - 6,7	0,5—1,0	0,85 [46]	0,3—0,8	0,6—1,2	
40.	69 Hebungen von 2004 g	8,8 [5]	2,0 2,5	2,5—9,8	0,67 [50]	0,3	0,5—0,9	Atem stark angehalten, Hebungen sehr schnell u. ausgiebig.
41.	N.-K.	9,5 [4]	*	—	0,98 [39]	0,3—0,6	0,7—1,2	* Atmung nicht ganz verzeichnet.
42.	28 Hebungen des ganzen Gewichts	2,9 [15]	2,0—3,4	kurz	0,64 [65]	0,6 und weniger	0,5—0,7	Atem regelmäßig u. fast ohne Pause.
43.	N.-K.	*	*	*	0,85 [41]	0,25—0,65	0,6—1,2	* Atmung fehlt.
H 44 a.	N.-K.	2,54 [6]	3,3	—	0,89 [17]	0,3—0,8	0,80—0,95	
b.	22 regelmäßige Hebungen von 2004 g	2,48 [10]	2,6	0—1,1	0,85 [29]	verschieden*	0,6—0,9	* Schreiber des Pulses schleuderte; daher Pulshöhe und Schwankung unsicher. Die leichte Bewegung hat den Atem nur sehr wenig beeinflußt.

L	45.	N.-K.	4,29 [10]	8,20—9,65	2,1	0,92 [46]	0,55—0,85	0,85—1,0	
	46.	Ruhiges Heben von 2107 g (2 Hebungen pro Sekunde)	3,19 [13]	7,4—9,0	1,3 - 2,0	0,91 [46]	0,60—0,85	0,85—0,95	
	47 a.	N.-K.	3,68 [4]	7,25—8,1	1,7—2,2	0,95 [15]	0,65—0,95	0,9—1,0	
	b.	54 kurze Hebungen des ganzen Gewichts	3,06 [8]	6,8—8,1	1,2—2,1	0,87 [29] *	0,45—0,60 und mehr	0,8—0,9	* Die Werte der Pulslängen nehmen stetig ab.
	48 a.	N.-K.	3,80 [5]	6,4—8,0	1,6 - 2,1	0,97 [19] *	0,60—0,85	0,95—1,05	* Die Werte bleiben hier wieder gleich.
	b.	30 Hebungen des ganzen Gewichts (Ruhig)	3,42 [6]	7,2—7,7	1,3—2,1	0,93 [26]	0,45—0,65	0,85—0,95	Ganz geringe Atemveränderung, keine Anstrengung.
	49 a.	N.-K.	3,72 [3]	5,8—6,2	ca. 2	0,96 [12]	0,7 - 0,8	0,8—1,0	
	b.	90 Hebungen des ganzen Gewichts; maximale Leistung	2,91 [10]	4,1—7,3	1,2—1,6	0,81 [35] *	0,3—0,6	0,7—0,85	Zuletzt Ermüdung sichtbar, jedoch ohne großen Einfluß auf die Atmung. * Verkürzung des Pulses zunehmend.
	50.	N.-K.	3,63 [12]	5,5—7,3	1,6—2,1	0,96 [44]	0,70—0,95	0,90—1,05	
T	51.	N.-K.	4,53 [10]	1,8—6,7	2,6—3,1	1,08 [42]	0,40—0,55	1,0—1,2	
	52 a.	N.-K.	4,23 [5]	3,0—6,6	2,0—2,7	1,20 [19]	0,30—0,45	1,0—1,35	
	b.	Heben des kleinen Gewichts, Metronom 100	3,65 [6]	1,7—6,6	2,0—2,6	1,06 [21]	0,30—0,45	0,9—1,15	
	53 a.	N.-K.	4,0 [5]	4,2 - 5,6	1.0—2,0	1,09 [18]	0,2—0,5	1,0—1,2	

Tabelle II (Fortsetzung).

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
T 53b.	Heben des ganzen Gewichts, Metronom 100	3,5 [7]	2,5—6,9	0,0—3,5	0,92 [26]	unsicher	0,8—1,0	
54a.	N.-K.	4,2 [5]	1,8—4,0	1,5—2,5	1,05 [22]	0,25—0,45	0,9—1,2	
b.	Heben des ganzen Gewichts, Metronom 132	3,4 [6]	2,6—6,1	0,0—2,5	0,87 [25]	0,2—0,4	0.8—1,0	
Ma 55a.	N.-K.	2,9 [5]	1,8—1,9	kurz	0,70 [28]	*	0,5—0,8	* P.-H. wegen Schleuderns unsicher.
b.	25 taktmäßige Hebungen von 2004 g Keine Anstrengung	2,9 [11]	1,5—2,0	kurz	0,68 [47]	*	0,5—0,8	* P.-H. wegen Schleuderns unsicher.
56a.	N.-K.	3,0 [4]	1,5—2,0	kurz	0,73 [16]	*	*	* P.-H. u. -S. wegen Schleuderns nicht festgestellt.
b.	35 Hebungen des ganzen Gewichts	2,7 [13]	1,3—2,2	kurz	0,66 [52]	—	—	Niveau der Atmung um 0,7 vertieft.

3. Geistige Tätigkeit.

Die Aufgaben waren entweder einfache Rechenaufgaben, wie eine Multiplikation zweier zweistelliger oder einer zwei- und einer dreistelligen Zahl oder die fortlaufende Addition einer Zahl zu sich selbst, außerdem einfache Beobachtungsaufgaben, wie das Zählen einer Reihe von Strichen, der Formen einer mehr oder weniger verwickelten Figur, wie die Wirthsche zur Untersuchung des Apperzeptionsumfanges benutzte, und dergleichen.

Tabelle III. Geistige Tätigkeit.

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
				a) Rechnen.				
Mi 57a.	Vorher	4,3 [3]	1,5—3,4	kurz *	0,85 [13]	0,4—0,9	0,7—0,9	* Exspiration verhältnismäßig langsam.
b.	Während des Rechnens	2,72 [5]	0,5—2,0	kurz	0,68 [18]	0,4—0,5	0,6—0,7	
c.	Nachher	4,2 [2]	2,2—4,1	*	0,75 [11]	—	—	* Exspiration steiler.
C 58.	N.-K.	9,9 [4]	5,8—7,0	0,8—1,2	0,81 [49]	0,25—0,45	0,75—1,0	
59a.	Vorher	8,7 [2]	4,6—5,5	1,3—1,9	0,79 [21]	0,3—0,5	0,70—0,95	
b.	Währ. des Rechn. (246×23)	5,9 [5]	3,5—4,6	0,3—1,0	0,59 [50]	0,15—0,30	0,5—0,7	
L 60a.	Vorher	4,27 [4]	5,7—7,2	1,8—2,0	0,85 [15]	0,75—1,0	0,8—0,9	
b.	Währ. d. Rechn. (21+21+21 +...)	2,98 [10]	4,6—5,1	1,0—1,5	0,80 [30]	0,7—0,9	0,75—0,85	
61a.	Vorher	4,05 [4]	4,8—5,2	1,5—2,0	0,86 [15]	0,65—0,85	0,8—0,9	
b.	Währ. des Rechn. (13×156)	2,88 [6]	4,9—5,2	1,3—1,6	0,76 [19]	0,55—0,7	0,7—0,8	
c.	Nachher	4,0 [2]	5,3—6,2	1,6—1,9	0,79 [10]	0,60—0,8	0,7—0,85	
T 62a.	Vorher	4,1 [5]	2,5—6,7	1,0—2,0	1,07 [19]	0,35—0,50	0,9—1,2	
b.	Währ. des Rechn. (13×48)	3,2 [6]	1,2—2,2	1,2—1,8	1,00 [20]	0,30—0,45	0,9—1,05	
				b) Beobachten.				
	Wirthsche Figur, 9 Zeichen richtig reproduziert							
Mi 63a.	Vorher	5,8 [3]	3,9—4,3	2,0—2,3	0,97 [18]	0,35—0,45	0,9—1,0	
b.	Während des Beobachtens	3,2 [3]	2,6—3,5	0,9—1,9	0,88 [12]	0,3—0,35	0,8—0,9	
c.	Nachher	4,3 [4]	3,9—4,2	1,9—2,7	0,83 [19]	0,25—0,45	0,75—1,0	
					[* 0,93 [9]	0,35—0,45	0,8—1,0]	* Nur die letzten 9 Pulse von c.
H 64a.	Vorher	3,3 [4]	1,8—2,5	kurz	0,87 [12]	*	0,7—1,0	* P.-H. wegen Schleuderns nicht sicher zu bestimmen.
b.	Bei der 1. Darbietung	2,7 [2]	1,2—1,5	kurz	0,82 [10]	*	0,7—0,9	
c.	Vor der 2. Darbietung	2,2 [2]	2,4	kurz	0,77 [7]	*	0,7—0,8	
d.	Während der 2. Darbietung	2,5 [4]	2,4	kurz	0,74 [15]	*	0,7—0,8	
e.	Nach der 2. Darbietung	2,9 [2]	2,4	kurz	0,83 [8]	*	0,7—0,9	

4. Körperlicher Schmerz.

Die Schmerzreize wurden in doppelter Form angewandt. Das »Stechen« fand an der Hand zwischen Daumen und Zeigefinger mit einem ziemlich scharfen nagelartigen Instrument in kurzen Zwischenräumen statt; es handelte sich um eine erheblich unangenehme Einwirkung (bei der auch etwas Blut floß). Beim Kneifen wurde der Daumen von der Seite her an der Nagelwurzel mit einer Zange erfaßt und stark zusammengepreßt, in einem Falle bis zu einem deutlichen Bluterguß unter dem Nagel. Auch dieser Schmerz war als ein starker zu bezeichnen. Die Zeiten gehen aus den Angaben in der Tabelle hervor.

Tabelle IV. Körperlicher Schmerz.

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
	Kneifen mit einer Zange.							
Mi 65 a.	Vorher	4,1 [4]	1,7—2,0	0—1,2	0,84 [13]	0,3—0,6	0,7 –1,0	
b.	Während desselben	4,6 [6]	2,6 bzw. 2,9	anf. verläng.	0,87 [33]	0,3—0,4	0,7—1,0	
66 a.	Vorher	3,97 [3]	6,2	0,8	0,99 [11]	0,55 - 0,80	0,9—1,1	
b.	Stechen (8 mal)	3,34 [10]	7,0	1,0—1,5 *	1,01 [32]	0,65, auch höher	0,9—1,1	* A.-P. einmal 4,0.
	Konstantes Stechen.							
67 a.	Vorher	3,7 [3]	3,4—3,8	0,7—0,9	0,86 [12]	0,5	0,5—1,1	
b.	Stechen	7,0 [2] *	7,5	2,0—3,0	0,80 [22]	0,20	0,3—1,1	* A. flackerig.
c.	Nachher	5,0—7,0 [3]	5,7—7,1	1,2—1,4	1,0 [18]	0,5	0,7—1,1	
	Kneifen des Daumens.							
C 68 a.	Vorher	7,5 [3]	3,8—4,3	0,6—2,9	0,80 [19]	0,2—0,3	0,6—1,0	
b.	Während desselben	2,7 [8]	2,4—2,3	0,2—0,5	0,85 [25]	0,2—0,3	0,75—0,95	

	Schwacher Druck.						
69 a.	Vorher	6,0 [2]	3,0—4,8	1,7—1,9	0,86 [14]	0,15—0,40	0,65—1,10
b.	Während desselben	7,3 [4]	3,3—4,8	0,7—1,9	0,83 [34]	0,10—0,30	0,7—1,1
70.	*Leichter Schmerz.*	4,6 [6]	3,5—4,2	0,5—0,7	0,78 [35]	0,15—0,30	0,65—0,90
	Kneifen mit einer Zange.						
H 71 a.	Vorher	3,95 [4]	3,1—3,8	0,7—1,1	0,90 [17]	0,6—0,8	0,7—1,0
b.	Während desselben	2,4 [11]	0,9—3,5	0,4—0,7	0,74 [33]	0,6—0,8	0,60—0,85
	Kneifen mit einer Zange.						
Ma 72 a.	Vorher	3,7 [3]	2,3—2,7	0,3—1,2	0,61 [18]	0,9—1,4	0,5—0,65
b.	Während desselben	3,1 [8]	0,7—3,3	0,1—0,2	0,57 [40]	0,9—1,4	0,45—0,6
	Stechen d. Armes m. Pfriem.						
73 a.	Vorher	3,2 [4]	2,0	0,2—0,9	0,66 [19]	0,8—1,2	0,6—0,7
b.	Während desselben	2,8 [11]	1,8—2,0	0,4—0,8	0,67 [45]	0,8—1,2	0,55—0,7

5. Geschmack und Geruch.

Über den Einfluß von Geschmacks- und Geruchsreizen ist eine besonders große Anzahl von Aufnahmen gemacht worden, weil nach der ziemlich allgemeinen Annahme an ihnen der Unterschied des Lust- und Unlustgefühls und ihres Einflusses auf Atem und Puls besonders gut studiert werden kann. »Am ungestörtesten von solchen Einflüssen der Vermischung«, sagt Wundt (Physiol. Psychol. 5. Aufl. Bd. II, S. 313), »erscheint die Abhängigkeit der Lust- und Unlustkomponenten von der Stärke der Empfindung bei den im allgemeinen durch ihre lebhafte Betonung in diesen Richtungen ausgezeichneten Geschmacks- und Geruchseindrücken, so daß hier das allmähliche Wachsen des Gefühls mit der Empfindung und sein Übergang aus der Lust- in die Unlustphase in der Regel deutlich zu verfolgen ist.« Als Geschmacksreize dienten Chinin und Saccharin; als Geruchsreize Asa fœtida,

Phenyl-Isonitril, Schwefelwasserstoff und Merkaptan für die Unlustseite, Parfum ideal, Violetta vera, Menthol und Rosenduft für die Lustseite. Da die Parfüms mit Alkohol ausgezogen zu sein pflegen, wurde als Vergleich auch reiner Alkohol hinzugefügt. Menthol ist von einer Versuchsperson als stark unangenehm, von einer andern als durchweg angenehm bezeichnet worden. Auch sonst findet man bei den verschiedenen Versuchspersonen über die »Gefühlsseite« der Geschmacks- und Geruchsreize die verschiedensten Aussagen.

Tabelle V. Geschmack und Geruch.

	Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
				Geschmack. a) Bitter (Chinin).					
Mi	74.	N.-K.	5,0 [9]	2,8	—	0,94 [48]	0,6—0,75	0,9—1,05	
	75.	Chinin auf der Zungenfläche	4,41 [10]	5,0	—	0,92 [48]	0,5—0,6	0,8—0,95	
C	76.	N.-K.	6,26 [7]	2,0—2,2	—	0,73 [58]	0,3—0,4	0,7—0,85	
	77.	Chinin auf der Zungenspitze, Zunge herausgestreckt	3,79 [11]	1,0	—	0,79 [55]	0,25—0,3	0,7—0,85	
	78.	N.-K.	6,93 [6]	2,7	—	0,87 [48]	0,4—0,8*	0,7—1,0**	* Schleuderung?
	79.	Chinin auf der Zungenwurzel	5,99 [7]	1,8	—	0,77 [54]	0,2—0,45	0,7—1,0**	** P.-S. nicht regelmäßig.
	80.	Chinin reichlich auf der Zunge	7,86 [5]	5	1,5 - 2,0	0,85 [46]	0,2—0,55	0,65—1,10	
	81.	Chinin, Zunge ausgestreckt	7,1 [5]	*	*	0,77 [49]	0,5—0,7 Ausnahme, meistens 0,2—0,5	0,6—1,05	* A. nicht ganz verzeichnet.

			b) Süß (Zuckerwasser, Saccharin).						
Mi	82.	N.-K.	7,2 [6]	2,0—2,7	1,1—2,1	0,80 [54]	0,45—0,50	0,75—0,85	
	83.	Nach Applikation von Zuckerwasser	5,9 [7]*	2,8—3,0		0,82 [52]	0,40—0,45	0,6—0,9	* A.-L. unregelmäßig.
	84.	Ohne neue Applikation	5,35 [9]	2,4—3,1	ca. 1—2	0,86 [57]	0,4—0,5	0,8—0,9	
	85.	Neue Applikation von starker Zuckerlösung; nicht geschluckt, daher unangenehm	6,12 [6]	1—2	nahezu keine Pause	0,78 [47]	0,35—0,45	0,7—0,9	Atem zitterig.
	86.	Nach Applikation von Zuckerwasser, Schlucken erlaubt; behaglich	8,3 [5]	1,6	*	0,79 [53]	0,4—0,5	0,7—0,9	* A.-P. nicht sicher zu messen wegen niedriger Schreibung.
	87.	Nachwirkung	7,57 [6]	1,4	*	0,77 [58]	0,4—0,5	0,7—0,85	
C	88.	N.-K.	7,52 [7]	2,5—3,5	3,0—3,7	0,79 [51]	0,3—0,35	0,65—1,0	
	89.	N.-K.	7,88 [6]	3,0—3,6	4,0—4,5	0,76 [54]	0,15—0,3	0,65—0,95	
	90.	N.-K.	7,96 [5]	1,1—2,5	3,5—4,0	0,83 [47]	0,2—0,35	0,75—1,15	
	91.	Saccharin, erst gegen Ende geschmeckt	8,28 [5]	1,8—3,0	4,5	0,74 [56]	0,2—0,25*	0,55—0,95	* Schreiber hat fester angelegen.
	92.	N.-K. bzw. Nachwirkung	8,05 [2]	2,3	4,5	0,86 [18]	0,2—0,35	0,65—1,15	
	93.	Saccharin angenehm verdünnt	8,50 [2]	3,5	2,0—3,3	0,81 [21]	0,15—0,2*	0,65—1,15	* Zum Teil schlecht geschrieben.
	94.	Saccharin	8,11 [5]	2,0—4,0	2,5—3,0	0,83 [49]	0,2—0,25	0,7—1,0	
	95.	Saccharin	7,58 [6]	1,0—3,2	3,0—4,0	0,80 [57]	0,15—0,25	0,7—1,0	
L	96.	N.-K.	3,70 [12]	5,35—7,4	1,9—2,25	0,84 [44]	0,5—0,6	0,8—0,85	
	97.	N.-K.	3,5 [12]	5,5—8,1	1,0—1,9	0,82 [54]	0,4—0,6	0,7—0,9	
	98a.	N.-K.	3,34 [6]	1,5—4,3	1,9—2,75	0,84 [24]	0,5—0,6	0,75—0,85	
	b.	Zuckerwasser	3,68 [5]	1,85—5,5	1,8—3,6*	0,84 [22]	0,5—0,55 [0,6]	0,75—0,85	*A.-P. anfangs lang.
	99.	Zuckerwasser	3,4 [13]	2,5—6,5	1,5—2,8	0,81 [48]	0,35—0,6	0,7—0,9	

Tabelle V (Fortsetzung).

	Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
		Geruch. a) Unangenehm (Asa fœtida, Phenyl-Isonitril, Schwefelwasserstoff, Merkaptan).							
Mi	100.	N.-K.	6,4 [7]	0,9—2,4	—	0,85 [52]	0,4—0,75	0,7—1,0	Geruch im Zimmer.
	101.	Geruch von Asa fœtida	7,8 [5]	2,6—5,0	—	0,82 [44]	0,3—0,5	0,8—1,1	
	102.	N.-K.	5,68 [7]	1,5—2,0	—	0,95 [42]	0,5—0,65	0,85—1,0	
	103.	Asa fœtida, Gefühl abgestumpft	6,99 [6]	über 3,5	—	0,92 [46]	0,45—0,6	0,85—1,0	
	104.	N.-K.	6,09 [7]	1,6—2,2	—	0,94 [45]	0,55	0,85—1,05	
	105.	Qualm und Kribbeln in der Nase	6,12 [7]	1,8—3,5	—	0,94 [45]	0,5	0,85—1,0	
C	106.	N.-K.	7,43 [6]	1,4—1,7	1,0—3,5	0,65 [68]	0,15—0,3	0,5—0,85	
	107.	N.-K.	7,1 [6]	1,4—2,9	0,0—1,1	0,70 [50]	0,2—0,4	0,5—1,1	
	108.	Asa fœtida	6,7 [6]	*	*	0,54 [73]	0,3—0,4	0,5—0,6	* Atmung nicht ganz verzeichnet.
	109.	N.-K.	5,60 [7]	2,5—4,2	0,0—0,7	0,66 [59]	0,2—0,35	0,6—0,9	
C	110.	Asa fœtida, unerträglich unangenehm	4,92 [9]	4,0	—	0,56 [78]	0,25—0,35	0,55	
	111.	N.-K. bzw. Nachwirkung	4,4 [10]	3,0—5,0	—	0,68 [65]	0,15—0,3	0,55—0,9	
	112.	N.-K. bzw. Nachwirkung	3,6 [12]	3,2—4,0	—	0,57 [76]	0,2—0,4	0,5—0,6	
L	113.	N.-K.	3,64 [12]	6,8—8,4	1,7—1,9	0,93 [45]	0,5—0,8	0,85—0,95	
	114.	N.-K.	3,86 [11]	8,4—9,3	1,4—2,0	0,95 [44]	0,5—0,8	0,9—1,0	
	115a.	N.-K.	3,9 [2]	8,7—9,1	1,3—1,5	0,90 [8]	0,55—0,9	0,85—0,9	
	b.	Reagenzglas mit Asa fœtida geöffnet; Geruch ganz schwach	3,84 [3]	8,6—9,0	1,5—1,9	0,91 [13]	0,55—1,0	0,85—0,95	

c.	Vor die Nase gehalten; Geruch nicht sehr stark	4.10 [4]	8,7—9,1	1,1—2,1	0,82 [2]	0,6—0,9	0,8—0,85	
116.	Asa fœtida; starke Entwicklung, etwas Brandgeruch; Gefühl nicht stark unangenehm	4,46 [9]	8,2—10,3 (einmal 4,75)	1,4—3,1 (das erste Mal 0,4)	0,89 [52]	0,5—1,2	0,8—0,95	
117.	Asa fœtida unter die Nase gehalten; Gefühl unangenehm (diesmal am stärksten)	4,04 [11]	8,3—10,8	1,0—2,1	0,89 [48]	0,7—1,3	0,8 - 0,9	Langsamere Einatmung, breitere Atmungsgipfel.
118.	N.-K.	3,18 [12]	6,1—8,7 (meistens 8,3)	1,2—1,7	0,80 [48]	0,65—0,9	0,75—0,9	Puls außergewöhnlich rasch.
119.	N.-K.	3,85 [11]	7,5—8,7	1,6 - 2,0	0,79 [54]	0,6—0,9	0,75—0,85	
120a.	N.-K.; schon ein wenig Geruch	3,7 [3]	5,6—6,9	1,9	0,88 [13]	0,55 - 0,85	0,8—1,0	
b.	Geruch von Phenyl-Isonitril	3,82 [8]	6,9—7,6	1,6—1,8	0,81 [49]	0,6 - 1,0*	0,8—0,85	* Hohe plethysmographische Welle.
121.	Einatmen v. Phenyl-Isonitril; nicht sehr unangenehm	3,15 [13]	7,8 - 8,6	1,0 - 1,2	0,82 [50]	0,4—1,1	0,75—0,85	
122.	Geruch durch Handbewegung zugefächelt	2,74 [11]	6,2—8,1	0,8—1,3	0,90 [34]	0,35—0,7	0,85—0,95	Atmung anfangs unregelmäßig.
123.	Nachwirkung im noch stark riechenden Zimmer	3,28 [13]	6,3—8,0	0,7—1,9	0,90 [47]	0,45 - 0,75	0,85 - 0,9	
124.	H_2S; Geruck eklig	2,7 [6] nachher noch kürzer	* unregelmäßig, ganz flach	**	0,87 [24]	0,35—0,5	0,8—0,9	* Husten. ** A.-P. nicht meßbar.
125a.	N.-K.	4,2 [3]	3,5 - 3,8	1,7—2,0	0,85 [15]	0,4—0,6	0,8—0,9	
b.	Rosenduft	4,0 [3]	6,8—8,0	0,8—1,0	0,85 [15]	0,4—0,7	0,8—0,9	
c.	Merkaptan	4,1 [4]	1,5—3,5	kürzer	0,73 [21]	0,35—0,85	0,65 - 0,75	
d.	Merkaptan	4,6 [9]	2,3 - 5,4*	kürzer	0,83 [46]	0,4—0,6	0,7—0,9	* A.-H. nimmt wieder zu.

Tabelle V (Fortsetzung).

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
	b) Angenehm (Pafum ideal, Violetta vera [Alkohol], Menthol, Rosenduft).							
Mi 126.	N.-K.	7,75 [6]	1,3—1,9	—	0,84 [55]	0,45—0,5	0,75—0,9	
127.	Ruhiges Einziehen von Parfum ideal, nicht sehr stark, angenehm	8,82 [5]	1,2	—	0,83 [51]	0,4—0,5	0,75—0,9	
128.	N.-K.	7,76 [5]	1,4	—	0,80 [48]	0,5	0,7—0,85	
129.	Ruhiges Einatmen von Parfum ideal, angenehm (wie 126)	8,29 [5]	3,5	0—1,0	0,86 [48]	0,5 gegen Ende abnehmend	0,8—1,0	Atmungsschreiber etwas verlängert.
130.	N.-K. oder Nachwirkung	7,56 [5]	3,0	1,1—3,0	0,85 [44]	0,45	0,7—1,0	
131.	Starkes Einziehen von Parfum ideal auf Schale, angenehm	7,32 [6]	0,8—1,8*	4,5 *	0,82 [54]	0,35—0,4	0,7—1,0	* Mangelhafte Schreibung.
132.	N.-K.	7,5 [5]	2,3	—	0,83 [45]	0,3—0,35	0,7—0,9	
133.	Starkes Einziehen von Parfum ideal auf Schale, angenehm	6,6 [7]	über 3,0*	*	C,77 [59]	0,25—0,3	0,6—0,9	* Atmung nicht ganz verzeichnet.
134.	N.-K.	7,52 [5]	1,0—1,7	—	0,90 [44]	0,35—0,4	0,7—1,1	
135.	Einziehen von reinem Alkohol auf Schale	5,83 [7]	über 3,8	—	0,85 [48]	0,25—0,35	0,7—1,1	
136.	N.-K.	6,77 [6]	1,4—2,0	0—2,0	0,87 [44]	0,45—0,55	0,85—1,05	
137.	Violetta vera in Warmwasserverdünnung ruhig eingeatmet, Gefühl indifferent	7,78 [5]	3,0—4,0	0—1,1	0,97 [40]	0,4—0,6	0,85—1,05 und länger	
138.	N.-K.	6,62 [6]	2,0	1,5 - 2,5	0,92 [43]	0,4—0,6	0,8—1,0	

	139.	Ruhiges tiefes Einziehen von Violetta vera, Gefühl ein klein wenig angenehm (etwas berauschend)	8,35 [5]	3,5	2,5; 4,5; 5,5 wachsend	0,89 [46]	0,5–0,65	0,6—1,1	
	140.	N.-K.	7,43 [5]	2,9—4,0	1—3	0,89 [42]	0,4–0,55	0,7—1,0 nicht immer	
	141.	Starkes Einschnaufen von Violetta vera, Gefühl leidlich angenehm	2,06 [22]	2,1—3,0	—	0,78 [58]	0,4—0,6	0,7—0,9	
	142.	N.-K.	6,68 [6]	2,2—4,2	zunehmend, zuletzt 1,7	0,94 [47]	0,45	0,85–1,0	
	143.	Starkes ruhiges Einziehen von Violetta vera aus Flasche; Gefühl nicht unangenehm	4,37 [8]	1,9—3,5*	bis 3,5	0,86 [42]	0,35—0,4	0,6–1,1	* A.-H. ungleichmäßig.
	144.	N.-K.	7,8 [5]	3,5	0,9—2,0	0,98 [39]	0,4	0,8—1,1	
	145.	Ruhiges Einziehen von Menthol auf Schale; Gefühl anziehend	7,5 [6]	*	*	0,93 [49]	0,3–0,6	0,6–1,2	* Atmungsschreiber schlapp.
	146.	N.-K.	7,4 [6]	1,7—3,7	kurz	0,92 [50]	0,2—0,3	0,7—1,0	Pulsschreiber fest
	147.	Menthol in starker Lösung eingeatmet; Gefühl stark unangenehm (sehr intensiver Geruch), Atmung zurückgehalten	10,15 [4]	bedeutend *	*	0,94 [43]	0,3–0,4	0,75—1,2	* Atmung nicht ganz verzeichnet.
	148.	N.-K.	7,3 [6]	2,4–2,6	kurz	0,94 [46]	0,3	0,7—1,1	
	149.	Starke Menthollösung eingeatmet; Gefühl stark unangenehm (nicht so intensiv u. bestimmt wie bei 147)	10,9 [4]	5	1,8—5,0	0,91 [47]	0,3	0,7—1,1	
C	150.	N.-K.	7,41 [6]	3.6–4,1	2,0—2,5	0,78 [57]	0,15—0,3	0,7—0,9	
	151.	N.-K.	7,52 [6]	*	*	0,75 [58]	0,2—0,35	0,6—0,9	* Atmung nicht ganz registriert.
	152.	N.-K.	7,58 [5]	3,0—3,5	4,0—4,5	0,75 [49]	0,15–0,25	0,65–0,85	

Tabelle V (Fortsetzung).

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
C 153.	Ruhiges Einziehen von Menthol, angenehm, kein Husten	6,79 [6]	2,4—3,7	2,3—4,0	0,77 [52]	0,2—0,3	0,75—0,9	
154.	N.-K.	7,52 [5]	2,5—3,7	3,2—4,2	0,75 [50]	0,2—0,25	0,65—0,85	
155.	Wiederholtes starkes Einziehen von Menthol, Gefühl angenehm, kein Niesen	4,44 [10]	2,7—3,7	2,5	0,78 [59]	0,25—0,4	0,65—0,9	
156.	N.-K. oder Nachwirkung	6,28 [6]	1,0—3,5	1,8—2,5	0,83 [45]	0,25—0,3	0,75—0,9	
157.	Forciertes Einziehen von Menthol, Gefühl angenehm	3,14 [14]	0,2—3,0	1,5—2,0	0,74 [59]	0,3—0,35	0,65—0,95	
158.	N.-K.	5,23 [8]	2,4—2,5	0—1,5	0,63 [62]	0,25—0,35	0,6—0,75	
159.	N.-K.	6,32 [6]	2,2—2,7	0—1,2	0,71 [53]	0,25—0,4	0,6—0,8	
160.	N.-K.	7,0 [6]	3,4—3,6	0—1,2	0,73 [57]	0,2—0,4	0,6—0,9	
161.	Ruhiges Einatmen von Violetta vera, Gefühl nicht so angenehm	6,2 [6]	über 4,5*	*	0,72 [51]	0,2—0,4	0,6—0,9	* Nicht ganz verzeichnet.
162.	N.-K.	5,0 [9]	3,7—4,3	0—1,3	0,68 [65]	0,2—0,4	0,6—0,85	
163.	Ruhiges Einatmen von Violetta vera	6,06 [7]	über 4,5*	*	0,69 [60]	0,2—0,4	0,6—0,9	* Nicht ganz verzeichnet.
164.	N.-K.	7,42 [5]	4,6—5,0	2,5—3,7	0,71 [52]	0,2—0,25	0,6—0,8	
165.	Kräftiges Einschnaufen von Violetta vera	3,17 [12]	5,0—2,0 abnehmend	*	0,61 [61]	0,3—0,5	0,5—0,65	Atmung zum Teil flackerig.
166.	N.-K.	6,83 [5]	3,7	0—2,0	0,64 [53]	0,1—0,2	0,55—0,8	
167.	N.-K.	7,17 [6]	3,7—4,0	2.5—3,5	0,65 [65]	0,10—0,15	0,5—0,75	
168.	Ruhiges Einziehen von Parfum ideal, angenehm	5,36 [7]	4,0	1,5—2,0	0,65 [58]	0,05—0,15	0,6—0,75	

169.	N.-K.	5,49 [8]	2,4—4,0	2,5—3,5	0,65 [67]	0,1—0,25	0,6—0,7	
170.	Ruhiges Einziehen von Parfum ideal, Annehmlichkeit nicht so deutlich	6,32 [7]	3,6	2,8—3,5	0,70 [63]	0,1—0,2	0,6—0,9	
171.	N.-K.	7,25 [6]	2,2—4,0	3,5—4,5	0,65 [66]	0,2—0,35	0,6—0,85	
172.	Ruhiges Einziehen von Parfum ideal, Annehmlichk. merklich	6,11 [7]	1,5—3,8	2,5-4,0	0,71 [60]	0,15-0,2	0,6—1,0	
173.	N.-K.	6,87 [6]	3,5—3,8	3,3—4,0	0,66 [62]	0,15—0,2	0,6-0,75	
174.	Kräftiges Einziehen von ausgegossenem Parfum ideal, Gefühl angenehm	4,23 [10]	0,3—3,0	2,0	0,66 [64]	0,15—0,2 gegen Ende etwas höher	0,6—0,8	
175.	N.-K.	6,29 [7]	3,0—3,5	3,0—3,6	0,66 [67]	0,15—0,2	0,6—0,7	
176.	Starkes Einziehen von ausgegossenem Parfum ideal, Gefühl angenehm	4,34 [10]	0,8—2,7	2,0	0,68 [64]	0,15-0,2	0,5—0,8	
L 177 a.	N.-K.	3,35 [6]	0,5—2,8	2,0	0,87 [25]	0,4—0,5	0,8—1,0	P.-L. scheinbar nachher abnehmend. A.-H. wachsend.
b.	Menthol zieml. stark, angenehm	5,20 [2]	6,9—7,9	2,2—2,6	0,87 [13]	0,4—0,6	0,9—1,0	
178.	Menthol schwach, anf. normal	4,0 [11]	2,5—6,7	1,0—2,7	0,88 [50]	0,4—0,6	0,8—0,9	
179.	N.-K.	3,21 [14]	7,9—10,2	1,7—2,0	0,81 [52]	0,4—0,6	0,8—0,9	
180 a.	N.-K.	3,59 [4]	6,9—8,9	2,0—2,1	0,82 [17]	0,45—0,6	0,8—0,9	
b.	Rosenduft	3,46 [9]	8,6—11,0	1,4	0,81 [39]	0,5—0,7	0,75—0,85	
181 a.	N.-K.	4,10 [4]	6,8—7,8	2,3—2,5	0,80 [21]	0,5—0,65	0,78—0,83	
b.	Rosenduft	4,43 [6]	5,4—10,3	1,6—2,1	0,79 [32]	0,45—0,9	0,7—0,85	

6. Stimmungen.

Diese Versuche wurden so angestellt, daß die Versuchsperson die Aufgabe erhielt, sich in eine Stimmung zu versetzen, zumeist durch Vorstellung und innerliche Reproduktion eines Gedichtes, eines

persönlichen Erlebnisses oder stark erregenden Ereignisses. In einigen Fällen wurde auch durch Erzählungen und Fragen (Scherz) eine bestimmte Stimmung zu erzielen versucht. Damit bei der durch innere Versenkung entstandenen Stimmung nicht durch ein geäußertes Stichwort als Zeichen des Anfangs des Versuchs eine innere Störung entstehe, hatte die Versuchsperson die Möglichkeit, durch leichtes Anziehen eines in ihrer Hand befindlichen Fadens den Gang des Kymographions selbst in Bewegung zu setzen. Die Normalkurve war jedesmal vorher genommen worden. Auch das Ende des Versuchs war in das Belieben der Versuchsperson gestellt. Nur die nach dem subjektiven Empfinden des Betreffenden mehr oder weniger gelungenen Versuche (vgl. Bemerkungen darüber) sind benutzt worden.

Tabelle VI. Künstliche Stimmungen.

Nr.	Bezeichnung	Atmung			Puls			Bemerkungen
		Länge	Höhe	Pause	Länge	Höhe	Schwankung	
		a) angenehm.						
Mi 182.	Vorgestellte Lustigkeit	4,23 [11]	1,4—2,8	0—0,25	0,71 [65]	0,5—0,6	0,70—0,75	
183.	N.-K.	6,10 [7]	1,6—1,9	2,5—3,0	0,82 [52]	0,5—0,6	0,7—0,9	
184.	N.-K.	5,96 [7]	2,8	—	0,90 [46]	0,3	0,7—1,1	
185.	Vorgestellte Lustigkeit (Nicht besonders gut)	5,23 [8]	0,25-1,2*	*	0,74 [57]	0,35	0,65—0,85	* Schreiber schlapp.
186.	N.-K.	5,73 [8]	4,0	—	0,91 [50]	0,55—0,60	0,85—1,0	
187.	Heitere Freude, gut (Goethe: »Freude«)	4,93 [8]	3,0—4,0	0—2,5*	0,74 [60]	0,4—0,6	0,7—0,8†	* Rasche Respiration. † P.-S. mitunter größer.

C	188.	N.-K.	5,99 [7]	3,3—3.5	2,2—3,2	0,79 [53]	0,15—0,25	0,60—0,85	
	189.	Lustigkeit	7,19 [6]	3,2—3,6	2,0—2,5	0,74 [58]	0,2—0,3	0,60—0,85	
	190.	N.-K.	6,1 [7]	3,0—4.5	0—0,7	0,78 [46]	0,25—0,35	0,65—1,0*	* P.-S. meistens geringer.
	191.	Satirische Stimmung (Spiteles: »Das neue Jahrhundert«)	5,9 [7]	1.8	—	0,74 [59]	0,25—4,0	0,6—1,0	Atmung ganz unregelmäßig. P.-H. zum Teil geringer.
L	192.	N.-K.	3,99 [10]	2,50—3,75	2,6—2,9	0,81 [50]	0,45—0,60	0,80—0,85	
	193a.	Vergnügtsein	3,23 [6]	zu flach		0,91 [21]	0,45—0,55	0,88—0,93	
	b.		3,00 [5]	zu flach		0,90 [17]	0,45—0,55	0,88—0,93	
	194.	Anhören einer humoristischen Erzählung	3,2 [14]	*		0,92 [47]	0,20—0,45	0,85—0,95	* A.-H. nicht richtig geschrieben.
L	195a.	Anhören von Witzen	Atmung zu flach			0,84 [12]	0,30—0,45	0,8—0,9	Anfangs keine P.-S.
	b.			- - -		0.81 [13]	0,25—0,40	0,80—0,85	
	c.			- - -		0,90 [23]	0,25—0,50	—	P.-S. keine eigentl. Schwankung; Puls beginnt kurz, wird dann reichlich 1,0 u. nimmt wieder ab.
	d.			- - -		0,90 [7]	0,35—0,55	*	* P.-S. kaum vorhanden.
	e.			- - -		0,89 [9]	0,40—0,55	0,8—0,9	
	f.			- - -		0,95 [8]	0,4—0,6	*	* P.-L. anfangs reichl. 1,0; nachher weniger.
	196a.	Scherzfragen		- - -		0,95 [8]	0,50—0,75	0,9—1,0	
	b.			- - -		0,97 [14]	0,3—0,7	P.-Verkürz. gegen Ende	
	c.			- - -		0,92 [13]	0,35—0,55	P.-Verläng. geg. Schluß	
	197.	N.-K.	3,21 [14]	7,9—10,2	1,7—2,0	0,81 [52]	0,45—0,60	0,75—0,85	

Tabelle VI (Fortsetzung).

Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
		b) unangenehm.						
Mi 198.	Vorgestellte Traurigkeit	6,72 [6]	3,5	2,0—4,5	0,67 [61]	0,6	0,60—0,70	
199.	N.-K.	5,47 [8]	1,7	1,8—2,5	0,87 [49]	0,4	0,85—1,0	
200.	N.-K.	5,86 [8]	2,1	—	0,86 [55]	0,30—0,35	0,70—0,95	
201.	Vorgestellter Kummer, nicht besonders	10,53 [3]	2,5—3,0	0—2,0	0,91 [35]	0,30—0,35	0,6—1,2	
202.	N.-K.	6,3 [7]	4,5	0,6—1,4	0,85 [52]	0,4—0,6	0,7—1,05	
203.	Sehnsucht, ziemlich gut (Mignon)	7,4 [7]	3,2	0—4,7	0,72 [61]	0,5—0,8	0,6—0,8	Geg. Ende ein ganz kurz. Atemzug. Pulse anfangs außerordentlich kurz.
204.	N.-K.	5,54 [7]	3,0—4.5	0—1,4	0,91 [44]	0,50—0,55	0,7—1,0	
205.	Traurige Stimmung, ziemlich gut (Goethe: »Laß mein Aug'«)	7,26 [5]	4,0	1,0—4,0	0,79 [46]	0,6—0,8	0,7—0,9	
C 206.	N.-K.	6,06 [7]	3,0—3,4	2,5—3,5	0,76 [56]	0,2—0,3	0,70—0,85	
207.	Leid (mäßig gut)	9,29 [4]	1,8—4.2	4,5—5,0	0,82 [45]	0,25—0,35	0,65—1,05	
208.	N.-K.	7,21 [6]	1,3—1,7	1,6—2,7	0,76 [57]	0,25—0,40	0,65—1,10	
209.	Elegische Stimmung (Kellers Abendl. 3 Str.)	10,45 [3]	2,0	*	0,86 [37]	0,3—0,5	0,65—1,20	* Ganz langsame Ausatmung.
210.	N.-K.	7,7 [5]	2,2—3,0	0—3,8	0,75 [51]	0,2—0,4	0,6—0,9	

211.	Trauer (gut geraten R. Wagner Heimführ.)	12,0 [3]	2,6—3,0	kurz*	0,79 [45]	0,3—0,5	0,6—1,6	* Ganz langsame Ausatmung.
212.	N.-K.	6,93 [6]	4,3—5,0	2,9—4,2	0,71 [58]	0,1—0,2	0,60—0,95	
213.	Ärger (gut geglückt)	6,80 [7]	5,2	1,5—3,0	0,67 [62]	0,20—0,25	0,50—0.75	
L 214.	N.-K.	3,8 [12]	2,4—4,8	2,0—2.5	0,84 [49]	0,4—0,6	0,8—0,9	
215.	Wehmütige Stimmung (Lektüre von Goethe: »An den Mond«)	3,85 [11]	4,1—6,8	2,0—2,5	0,85 [50]	0,4—0,5	0,8—0,9	
216.	Angst durch Vorstellen eines Unglücksfalles	2,88 [15]	1,3—5,3	1,5—2,0	0,80 [54]	0,45—0,55	*	* P.-S. kaum vorhanden.
217.	Ärger und Wut	2,9 [15]	4,3—6,6	1,3—1,8	0,85 [51]	0,4—0,7	0,75—0,90	

III.

Um eine schnelle und einfache Übersicht über die Bedeutung dieser Ergebnisse zu gewinnen, sind die mitgeteilten Tabellen einer zweiten Behandlung unterzogen. Dabei sind die Zahlen der jedesmaligen Reizkurve mit denen der vorhergehenden, zuweilen auch der nachfolgenden Normalkurve[1]) in Beziehung gesetzt und das Ergebnis als + oder — in diese Schlußtabellen aufgenommen. So bezeichnet also eine positive oder negative Zahl unter der Rubrik »Länge« jetzt (Tab. IX bis XV)

1) Die Nummern der verglichenen Kurven sind in der zweiten Rubrik (Nr.) jedesmal augegeben. Das einfache Minuszeichen in den Rubriken der Atempause und der Pulsschwankung bedeutet das gänzliche Verschwinden der betr. Erscheinung, die Null das Nichtbestehen eines Unterschiedes.

die Zunahme oder Abnahme, welche die Länge des Pulses oder Atems bei der Reizeinwirkung gegenüber der Norm erfahren hat. Unter der Bezeichnung »Höhe« finden sich wieder zwei Zahlen, die nun nicht mehr die Höhe selbst, sondern das Wachsen oder die Abnahme der Höhe gegenüber der jedesmaligen Norm ausdrücken, die erste Zahl in bezug auf die größten jedesmal erreichten Höhen, die zweite in bezug auf die kleinsten. Bei den Atemschwankungen steht jetzt nur eine einzige Zahl verzeichnet, welche die Abnahme oder Zunahme der Größe der Schwankungen bei den Reizkurven im Verhältnis zur Norm ausdrückt. Sie wird gefunden, wenn man die Differenzen, welche die Schwankungen der Normalkurve und der Reizkurve ausdrücken, wirklich ausrechnet und nun wieder diese Zahlen voneinander subtrahiert. Es mag beispielsweise die Schwankung der Normalkurve 0,60—0,75 (= 0,15), die der Reizkurve 0,5—0,6 (= 0,10) betragen, so würde der Schwankungsunterschied, wie er sich in der Schlußtabelle ausdrückt, — 0,05 sein (0,10—0,15).

Die Zahlen stellen also sämtlich mit ihren Vorzeichen die wirklichen Endergebnisse über Zunahme und Abnahme der in Rechnung gezogenen Erscheinungen dar. Und wir können verlangen, daß die Vorzeichen einer Reihe überall die gleichen sind, wo es sich um die gleiche Reizeinwirkung handelt, wenn wir in dem betreffenden Falle ein Abhängigkeitsverhältnis der Erscheinung vom Reiz annehmen sollen.

Vorher jedoch wird es gut sein, für die einzelnen Versuchspersonen die sämtlichen Normalkurven der verschiedenen Tage zusammenzustellen. Es ist gewiß nicht ohne Wert, sich davon zu überzeugen, wie groß die Unterschiede des normalen Verlaufs der Puls- und Atemerscheinungen an den verschiedenen Tagen, in den verschiedenen Stunden und selbst innerhalb derselben Stunde eines Tages sind. Eine »Tagesnorm« gibt es

nicht, auch nicht eine Norm des einzelnen Individuums. Wohl gibt es typische Unterschiede der Individuen, die sich auf sämtliche Erscheinungsformen des Pulses und Atmens ausdehnen und oft ganz außerordentlich auffallend sind. Während der eine gewöhnlich drei Pulse auf einen Atemzug hat, sind es bei einem anderen neun oder mehr; der eine atmet tief, der andere flach. Die Atemschwankungen des Pulses und die Höhenunterschiede sind ebenfalls sehr mannigfaltig. Vielleicht gelingt es einmal, für die Unterschiede der Temperamente hier feste physiologische Symptome aufzufinden. Die wagerechten Striche der folgenden Tabelle trennen die Normalkurven der einzelnen Versuchstage voneinander.

Tabelle VII. Normalkurven.

Nr.	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
Mi 1a.	4,6 [5]	1,1—9,8	2,75	0,95 [24]	0,1—0,2	0,8—1,0	
2a.	4,45 [3]	1,4	1—2	0,95 [14]	0,25—0,35	1,85—1,0	
12.	5,5 [8]	2,1	2,4—3,2	0,82 [53]	0,2—0,4	0,7—0,9	
13a.	6,4 [1]	2,1	2,4	0,80 [8]	0,32—0,45	0,75—0,90	
14a.	4,0 [3]	2—2,5	1,5—2	0,74 [16]	0,3	0,7—0,8	
15a.	5,0 [2]	2,0	1,2—1,5	0,92 [12]	0,25	0,9—1,1	
33.	*	*	*	0,92 [46]	0,4—1,3	0,6—0,7	* Atmung nicht registriert.
36.	6,6 [7]	*	*	1,00 [42]	0,6—0,8	0,9—1,05	* Nicht ganz verzeichnet.
38.	5,8 [9]	*	*	1,0 [46]	0,4—0,7	0,85—1,10	* Nicht ganz verzeichnet.
57a.	4,3 [3]	1,5—3,4	kurz *	0,85 [13]	0,4—0,9	0,7—0,9	* Exspiration verhältnism. langsam.
65a.	4.1 [4]	1,7—2,0	0—1,2	0,84 [13]	0,3—0,6	0,7—1,0	
66a.	3,17 [3]	6,2	0,8	0.99 [11]	0,55—0,80	0,9—1,1	
67a.	3,7 [3]	3,4—3,8	0,7—0,9	0,86 [12]	0,5	0,5—1,1	
	5,44 [9]	0,5	—	0,96 [47]	0,65—0,83	0,9—1,0	
	5,58 [8]	1,3—2,8	—	0,92 [49]	0,35—0,45	0,9—0,95	
74.	5,0 [9]	2,8	—	0,94 [48]	0,60—0,75	0,90—1,05	
	6,4 [6]	1,5—2,2	—	0,78 [49]	0,4—0,5	0,75—0,85	
	6,76 [6]	1,2—2,8	—	0,75 [54]	0,5	0,7—0,85	

Tabelle VII (Fortsetzung).

Nr.	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
82.	7,2 [6]	2,0—2,7	1,1—2,1	0,80 [54]	0,45—0,50	0,75—0,85	
100.	6,4 [7]	0,9—2,4	—	0,85 [52]	0,40—0,75	0,7—1,0	
102.	5,68 [7]	1,2—2,0	—	0,95 [42]	0,50—0,65	0,85—1,0	
104.	6,09 [7]	1,6—2,2	—	0,94 [45]	0,55	0,85—1,05	
	8,49 [5]	3,2	0—1,7	0,78 [51]	0,45	0,7—0,9	
	10,55 [4]	3,1	0,7—2,5	0,75 [56]	0,5	0,7—0,95	
126.	7,75 [6]	1,3—1,9	—	0,84 [55]	0,45—0,50	0,75—0,90	
128.	7,76 [5]	1,4	—	0,80 [48]	0,5	0,70—0,85	
130.	7,56 [5]	3,0	1,1—3,0	0,85 [44]	0,45	0,7—1,0	
132.	7,5 [5]	2,3	—	0,83 [45]	0,30—0,35	0,7—0,9	
134.	7,52 [5]	1,0—1,7	—	0,90 [44]	0,35—0,40	0,7—1,1	
	6,34 [6]	0,8—0,9	1,3—2,7 *	0,95 [41]	0,6—0,7	0,85—1,05	* Atmung sehr flach.
	7,17 [6]	1,5—1,8	—	0,88 [48]	0,45—0,55	0,8—1,05	
136.	6,77 [6]	1,4—2,0	0—2,0	0,87 [44]	0,45—0,55	0,85—1,05	
138.	6,62 [6]	2,0	1,5—2,5	0,92 [43]	0,4—0,6	0,8—1,0	
140.	7,43 [5]	2,9—4,0	1—3	0,89 [42]	0,40—0,55	0,7—1,0 *	* Nicht immer so groß.
142.	6,61 [6]	2,2—4,2	zunehmend, zuletzt 1,7	0,94 [47]	0,45	0,85—1,0	
144.	7,8 [5]	3,5	0,9—2,0	0,98 [39]	0,4	0,8—1,1	
146.	7,4 [6]	1,7—3,7	kurz	0,92 [50]	0,2—0,3	0,7—1,0	
148.	7,3 [6]	2,4—2,6	kurz	0,94 [46]	0,3	0,7—1,1	
183.	6,10 [7]	1,6—1,9	2,5—3,0	0,82 [52]	0,5—0,6	0,7—0,9	
184.	5,96 [7]	2,8	—	0,90 [46]	0,3	0,7—1,1	
186.	5,73 [8]	4,0	—	0,91 [50]	0,55—0,60	0,85—1,0	
199.	5,47 [8]	1,7	1,8—2,5	0,87 [49]	0,4	0,85—1,0	
200.	5,86 [8]	2,1	—	0,86 [55]	0,30—0,35	0,70—0,95	
202.	6,3 [7]	4,5	0,6—1,4	0,85 [52]	0,4—0,6	0,7—1,05	
204.	5,54 [7]	3,0—4,5	0—1,4	0,91 [44]	0,50—0,55	0,7—1,0	
C 3 a.	6,3 [3]	3,5	0—0,5	0,88 [21]	0,2—0,4	0,6—1,1	
4 a.	5,9 [3]	2,4—3,5	*	0,85 [20]	0,10—0,35	0,6—0,95	* Langsame Ausatmung.
16.	7,4 [6]	4,6—5,7	1,5—1,9	0,74 [54]	0,45—1,0	0,6—0,95	
17 a.	6,9 [2]	4,5—4,6	—	0,83 [14]	0,3—0,6	0,7—1,0	
18 a.	8,7 [2]	4,3—5,5	1,6—2,5	0,89 [19]	0,1—0,4	0,7—1,0	
19 a.	7,3 [1]	5,2	1,5	0,88 [9]	0,15—0,40	0,7—1,0	

Tabelle VII (Fortsetzung).

Nr.	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
39.	9,9 [4]	4,8—6,7	0,5—1,0	0,85 [46]	0,3—0,8	0,6—1,2	
41.	9,5 [4]	*	*	0,98 [39]	0,3—0,6	0,7 - 1,2	* Atmung nicht ganz verzeichnet.
43.	*	*	*	0,85 [41]	0,25—0,65	0,6—1,2	* Atmung fehlt.
58.	9,9 [4]	5,8—7,0	0,8—1,2	0,81 [49]	0,25	0,75—1,0	
59a.	8,7 [2]	4,6—5,5	1,3—1,9	0,79 [21]	0,3—0,5	9,7—0,95	
68a.	7,5 [3]	3,8—4,3	0,6—2,9	0,80 [19]	0,2—0,3	0,6—1,0	
69a.	6,0 [2]	3,0—4,8	1,7—1,9	0,86 [14]	0,15—0,40	0,65—1,1	
70.	4,6 [6]	3,5—4,2	0,5—0,7	0,78 [35]	0,15—0,30	0,65 - 0,90	
76.	6,26 [7]	2,0—2,2	—	0,73 [58]	0,30—0,40	0,70—0,85	
78.	6,93 [6]	2,7	—	0,87 [48]	0,4—0,8 *	0,7—1,0**	* Schleuderung? ** Nicht regelmäßig.
88	7,52 [7]	2,5—3,5	3,0—3,7	0,79 [51]	0,30—0,35	0,65—1,0	
89.	7,88 [6]	3,0—3,6	4,5—4,6	0,76 [54]	0,15—0,30	0,65—0,95	
90.	7,96 [5]	1,1—2,5	3,5—4,0	0,83 [47]	0,20—0,35	0,75—1,15	
106.	7,43 [6]	1,4—1,7	1,0—3,5	0,65 [68]	0,15—0,30	0,50—0,85	
107.	1,1 [6]	1,4—2,9	0—1,1	0,7 [50]	0,2—0,4	0,5—1,1	
150.	7,41 [6]	3,6—4,1	2,0—2,5	0,78 [57]	0,15—0,30	0,7—0,9	
151.	7,52 [6]	*	*	0,75 [58]	0,20—0,35	0,6—0,9	* Atmung nicht ganz registriert.
152.	7,58 [5]	3,0—3,5	4,0—4,5	0,75 [49]	0,15—0,25	0,65—0,85	
154.	7,52 [5]	2,5 - 3,7	3,2—4,2	0,75 [50]	0,20—0,25	0,65—0,85	
158.	5,23 [8]	2,4—2,5	0—1,5	0,63 [62]	0,25—0,35	0,60—0,75	
159.	6,32 [6]	2,2—2,7	0—1,2	0,71 [53]	0,25—0,40	0,6—0,8	
160.	7,0 [6]	3,4—3,6	0—1,2	0,73 [57]	0,2—0,4	0,6—0,9	
162.	5,0 [9]	3,7—4,3	0—1.3	0,68 [65]	0,2—0,4	0,60—0,85	
164.	7,42 [5]	4,6—5,0	2,5—3,7	0,71 [52]	0,20—0,25	0,6—0,8	
166.	6,83 [5]	3,7	0—2,0	0,64 [53]	0,1—0,2	0,55—0,80	
167.	7,17 [6]	3,7—4,0	2,5—3,5	0,65 [65]	0,10—0,15	0,60—0,75	
169.	5,49 [8]	2,4—4,0	2,5 —3,5	0,65 [67]	0,10—0,25	0,6—0,7	
171.	7,25 [6]	2,2—4,0	3,5—4,5	0,65 [66]	0,20—0,35	0,6—0,85	
173.	6,87 [6]	3,5—3,8	3,3—4,0	0,66 [62]	0,15—0,20	0,60—0,75	
175.	6,29 [7]	3,0—3,5	3,0—3,6	0,66 [67]	0,15—0,20	0,6—0,7	
188.	5,99 [7]	3,3—3,5	2,2—3,2	0,79 [53]	0,15—0,25	0,60—0,85	
190.	6,1 [7]	3,0—4,5	0 - 0,7	0,78 [46]	0,25—0,35	0,65—1,0*	* Meistens geringer.

Tabelle VII (Fortsetzung).

Nr.	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
206.	6,06 [7]	3,0—3,4	2,5—3,5	0,76 [56]	0,2—0,3	0,70—0,85	
208.	7,21 [6]	1,3—1,7	1,6—2,7	0,76 [57]	0,25—0,40	0,65—1,10	
210.	7,7 [5]	2,2—3,0	0—3,8	0,75 [51]	0,2—0,4	0,6—0,9	
212.	6,93 [6]	4,3—5,0	2,9—4,2	0,71 [58]	0,1—0,2	0,60—0,95	
H 5.	4,42 [9]	1,9	1,5	0,94 [43]	0,5—0,7	0,9—0,95*	* Oft kaum merklich.
20.	4,61 [10]	1,5—1,8	1,8	0,90 [46]	0,6—0,7	0,85—0,95	
22.	3,87 [11]	1,7	1,5—2,0	0,95 [46]	0,55	0,9—1,0	
44 a.	2,54 [6]	3,3	—	0,89 [17]	0,3—0,8	0,80—0,95	
64 a.	3,3 [4]	1,8—2,5	kurz	0,87 [12]	*	0,7—1,0	* Wegen Schleuderns nicht sicher zu bestimmen.
71 a.	3,95 [4]	3,1—3,8	0,7—1,1	0,90 [17]	0,6—0,8	0,7—1,0	
L 9.	4,56 [10]	3,5—6,3*	1,8—2,2	0,85 [54]	0,75—1,0	0,8—0,9	* 3,5 Ausnahme.
24.	3,57 [12]	5,15—6,85	ca. 1,5	0,86 [50]	0,65—0,90	0,8—0,9	
25 a.	3,80 [5]	4,5—5,7	1,5—1,7	0,86 [22]	0,75—0,95	0,8—0,9	
26 a.	3,87 [7]	5,0—7,5	1,5—1,8	0,87 [31]	0,8—1,0	0,85—0,90	
	4,30 [3]	5,0—6,5	1,7	0,81 [16]	0,65—0,85	0,8—0,9	
31.	3,75 [12]	7,3—9,0	1,9—2,2	0,83 [55]	0,8—1,2	0,80—0,85	
32 a.	4,60 [3]	9,1	2,2—2,5	0,82 [17]	0,75—1,1	0,80—0,85	
45.	4,29 [10]	8,20—9,65	2,1	0,92 [46]	0,55—0,85	0,85—1,0	
47 a.	3,68 [4]	7,25—8,1	1,7—2,2	0,95 [15]	0,65—0,95	0,9—1,0	
48 a.	3,80 [5]	6,4—8,0	1,6—2,1	0,97 [19]	0,60—0,85	0,95—1,05	
49 a.	3,72 [3]	5,8—6,2	ca. 2	0,96 [12]	0,7—0,8	0,8—1,0	
50.	5,63 [12]	5,5—7,3	1,6—2.1	0,96 [44]	0,70—0,95	0,90—1.05	
60 a.	4,27 [4]	5,7—7.2	1,8—2,0	0,85 [15]	0,75—1,0	0,8—0,9	
61 a.	4,05 [4]	4,8—5.2	1,5—2,0	0,86 [15]	0,65—0,85	0,8—0,9	
96.	3,70 [12]	5,35—7,40	1,90—2,25	0,84 [44]	0,5—0,6	0,80—0,85	
97.	3,5 [12]	5.5—8,1	1,0—1,9	0,82 [54]	0,4—0,6	0.7—0,9	
98 a.	3,34 [6]	1,5—4,3	1.90—2,75	0,84 [24]	0,5—0,6	0,75—0,85	
113.	3,64 [12]	6,8—8,4	1,7—1,9	0,93 [45]	0,7—0,8	0,85—0,95	
114.	3,86 [11]	8,4—9,3	1,4—2,0	0,95 [44]	0,5—0,8	0,9—1,0	
115 a.	3,90 [2]	8,7—9,1	1,3—1,5	0.90 [8]	0,55—0,90	0,85—0,90	
118.	3,18 [12]	6,1—8,7 meistens 8,3	1,2—1,7	0,80 [48]	0,65—0,90	0,75—0,90	

Tabelle VII (Fortsetzung).

Nr.	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
119.	3,85 [11]	7,5—8,7	1,6—2,0	0,79 [54]	0,6—0,9	0,75—0,85	
125 a.	4,2 [3]	3,5—3,8	1,7—2,0	0,85 [15]	0,4—0,6	0,8—0,9	
177 a.	3,35 [6]	0,5—2,8	2,0	0,87 [25]	0,4—0,5	0,8—1,0	
179.	3,21 [14]	7,9—10,2	1,7—2,0	0,81 [52]	0,4—0,6	0,8—0,9	
180 a.	3,59 [4]	6,9—8,9	2,0—2,1	0,82 [17]	0,45—0,60	0,8—0,9	
181 a.	4,10 [4]	6,8—7,8	2,3—2,5	0,80 [21]	0,50—0,65	0,8—0,83	
192.	3,99 [10]	2,5—3,75	2,6—2,9	0,81 [50]	0,45—0,60	0,80—0,85	
197.	3,21 [14]	7,9—10,2	1,7—2,0	0,81 [52]	0,45—0,60	0,75—0,85	
214.	3,8 [12]	2,4—4,8	2,0—2,5	0,84 [49]	0,4—0,6	0,8—0,9	
T 11 a.	4,05 [4]	3,7—6,2	2,0—2,2	0,90 [18]	0,4—0,5	0,85—1,0	
	4,47 [4]	2,8—5,2	1,8—2,7	0,87 [20]	0,30—0,35	0,85—0,95	
	4,0 [8]	5,5—6,6	2,0—2,2	0,92 [34]	0,45—0,70	0,75—1,05	
	4,59 [9]	4,5—6,1	1,9—2,9	0,90 [41]	0,5—0,8	0,75—1,1	
	4,45 [9]	3,15—5,2	2,2—2,5	0,82 [49]	0,45—0,50	0,75—0,85	
27.	4,17 [11]	3,55—6,10	2,0—2,5	0,84 [55]	0,45—0,55	0,80—0,95	
	4,33 [10]	2,9—6,0	2,4—3,3	1,04 [42]	0,35—0,65	0,85—1,10	
51.	4,53 [10]	1,8—6,7	2,6—3,1	1,08 [42]	0,40—0,55	1,0—1,2	
52 a.	4,23 [5]	3,0—6,6	2,0—2,7	1,20 [19]	0,30—0,45	1,0—1,35	
53 a.	4,0 [5]	4,2—5,6	1,0—2,0	1,09 [18]	0,2—0,5	1,0—1,2	
54 a.	4,2 [5]	1,8—4,0	1,5—2,5	1,05 [22]	0,25—0,45	0,9—1,2	
62 a.	4,1 [5]	2,5—6,7	1,0—2,0	1,07 [19]	0,35—0,50	0,9—1,2	
Ma 29.	3,1 [15]	1,3	—	0,66 [68]	0,6—1,2	0,6—0,9	
30 a.	3,4 [3]	1,2	—	0,64 [16]	0,6—0,9	0,6—0,7	
55 a.	2,9 [5]	1,8—1,9	kurz	0,70 [28]	*	0,5—0,8	* Wegen Schleuderns unsicher.
56 a.	3,0 [4]	1,5—2,0	kurz	0,73 [16]	*	*	* Wegen Schleuderns nicht festgestellt.
	2,8 [15]	2,1	kurz	0,64 [66]	1,1—1,4	0,6—0,7	
	3,4 [13]	2,0	etwas länger	0,64 [60]	1,1—1,5	0,6—0,7	
72 a.	3,7 [3]	2,3—2,7	0,3—1,2	0,61 [18]	0,9—1,4	0,50—0,65	
73 a.	3,2 [4]	2,0	0,2—0,9	0,66 [19]	0,8—1,2	0,6—0,7	

Die nun folgende Übersichtstabelle enthält die Maxima (Max.) und Minima (Min.) der in Tab. VII vorkommenden

Werte, zugleich unter M. den Mittelwert aus sämtlichen vorhandenen Zahlen.

Tabelle VIII.

	Atmung			Puls		
	Länge	Höhe	Pause	Länge	Höhe	Schwankung[1]
	Mi (44 Kurven).					
Min.	3,17	0,5	0	0,74	0,1	0,5
Max.	10,55	9,8	3,2	1,00	0,9	1,1
M.	6,02			0,88		
	C (42 Kurven).					
Min.	4,6	1,1	0	0,63	0,1	0,5
Max.	9,9	7,0	4,6	0,98	1,0	1,2
M.	6,94			0,78		
	H (6 Kurven).					
Min.	2,54	1,5	0	0,87	0,3	0,7
Max.	4,61	3,8	2,0	0,95	0,8	1,0
M.	3,78			0,91		
	L (29 Kurven).					
Min.	3,18	0,5	1,0	0,79	0,4	0,7
Max.	5,63	10,2	2,9	0,97	1,2	1,05
M.	3,88			0,90		
	T (12 Kurven).					
Min.	4,0	1,8	1,0	0,82	0,2	0,75
Max.	4,59	6,7	3,3	1,20	0,8	1,35
M.	4,26			0,98		
	Ma (8 Kurven).					
Min.	2,8	1,2	0	0,61	0,6	0,5
Max.	3,7	2,7	1,2	0,73	1,5	0,9
M.	3,25			0,66		

Die Unregelmäßigkeiten der Atmung sind verhältnismäßig größer als die des Pulses; die Zahlen für die Länge der

1) Unter Schwankung sind hier nicht die Atemschwankungen gemeint; es handelt sich um den größten und kleinsten überhaupt vorkommenden Pulslängenwert.

Atmung schwanken zwischen 2,54 und 10,54, die Pulslängen zwischen 0,61 und 1,2. Bei den einzelnen Personen betragen die absoluten Differenzen zwischen Maximum und Minimum der Atemlänge 7,38, 5,3, 2,07, 2,45, 0,59 und 0,9. Bei der Pulslänge sind die entsprechenden Werte die folgenden: 0,26, 0,35, 0,08, 0,18, 0,38, 0,12. Dabei entspricht keineswegs der größeren Differenz der Atemlänge die größere der Pulslänge. Denn während bei Mi die Atemlängendifferenz 7,38 und die Pulslängendifferenz 0,26 beträgt, entspricht bei T der geringen Atemlängendifferenz von 0,59 die größte vorkommende Pulslängendifferenz von 0,38. In Prozenten der Mittelwerte betragen die Differenzen für die Atemlänge:

	Mi	C	H	L	T	Ma
untere Abweichung	— 46	— 34	— 33	— 19	— 6	— 14
obere Abweichung	+ 73	+ 43	+ 23	+ 45	+ 5	+ 14
gesamte Differenz	119	77	56	64	11	28

Die analogen Zahlen für die Pulslängen sind:

	Mi	C	H	L	T	Ma
untere Abweichung	— 16	— 19	— 4	— 12	— 20	— 8
obere Abweichung	+ 14	+ 26	+ 4	+ 8	+ 27	+ 11
gesamte Differenz	30	45	8	20	47	19

Es folgt die Ergebnistabelle über die Wirkung der willkürlichen Atemveränderungen auf den Puls.

Tabelle IX. Künstliche Atemveränderungen.

Versuchs-Person	Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
			Atemvertiefung.						
Mi	1b—a	Tiefere Exspiration	—1,1	+0,9 +5,9	—	—0,15	0 +0,05	0	Puls hat nicht gut geschrieben.
	2b—a	Tiefere Exspiration	+0,23	+5,1	0	—0,15	0	—0,05	Nur zu Anfang größere P.-S.
C	3b—a	Tiefere Inspiration	—1,4	+1,9	0	—0,08	—0,15 +0,2	0	Periodisch sehr hohe und kleine kritzelige Pulse.
	4b—a	Tiefere Inspiration	—2,1	+1,6 +1,0	0	—0,13	—0,05 0	—0,05	Puls hat anfangs schlecht geschrieben.
H	6—5	Tiefere Exspiration	—0,61	+2,1 od. mehr	0	—0,18	—0,05 0	+0,2	Atmung für gewöhnlich schnell und flach. (6—5 bis 8—5)
	7—5	Starke Vertiefung	—0,03	+5,6	—0,3	—0,20	—0,2 —0,05	+0,15	
	8—5	Nicht bedeutende Vertiefung	—0,07	+4,6	—	—0,04	—0,2 —0,25	+0,15	
L	10—9	In- und Exspiration verstärkt	+4,14	+4,1	+3	—0,02	—0,15 —0,25	ein klein wenig +	
T	11b—a	In- und Exspiration verstärkt	+2,01	+5,15 +2,65	+0,25 +1,3	—0,06	0 +0,15	+0,025	
			Atembeschleunigung.						
Mi	13b—a	Etwas beschleunigt	—3,47	+0,3	—1,4	—0,08	+0,03 —0,05	—0,1	P.-H. erklärt sich aus der Steilheit der plethysmographischen Welle.
	14b—a	Ziemlich stark beschleunigt	—3,28	—1,3 —0,8	—	+0,06	0 +0,1	+0,1	P.-L. Normalkurve außergewöhnlich. Keine eigentl. A.-S.

	14b—c	(Dieselbe Kurve in bezug auf die nachfolgende berechnet)	— 3,38	— 1,4 — 0,5	--	0	+ 0,1 + 0,15	0	Die Erholung tritt langsamer ein.
	15b—a	Stark beschleunigt	zu niedr.	nicht zu zählen		— 0,13	— 0,05 + 0,15	+ 0,1	Keine eigentliche A.-S. P.-L. anfangs noch viel stärkere Pulsverkürzung.
	15b—c	Wenig beschleunigt	— 3,7	— 1,0 — 0,2	—	— 0,05	0 + 0,15	— 0,05	
C	17b—a		— 5,8	— 1,5 — 2,2	—	— 0,15	+ 0,1 0	— 0,25	Atmung meist wellig unregelmäßig.
	17b—c	(In bezug auf die folgende Kurve berechnet)	— 4,9	— 2,6 — 2,0	—	— 0,07	— 0,1 — 0,3	— 0,1	
	18b—a		— 8,28	— 2,3 — 3,5	—	— 0,22	0 + 0,1	— 0,1	Nachher P. viel höher; A.-S. hört geg. Ende auf, auch werden die P. dann niedriger.
	19b—a		— 6,77	— 4,2 — 2,7	—	— 0,19	0 + 0,2	— 0,3	Nachher P. bedeutend höher, jedoch periodisch ganz niedrig.
H	21—20	Starke Beschleunigung	— 4,09	—	—	— 0,06	— 0,2 + 0,4	— 0,05	A.-L. unregelmäß. (seufzerähnl. Vertiefung).
	23—22	Mäßige Beschleunigung	— 2,29	0 + 1,2	—	— 0,01	— 0,3 + 0,15	—	
L	25b—a	Nach Metronom 120	— 2,81	— 0,5 — 0,2	—	+ 0,02	+ 0,5 0	0	A.-H. größere Schwankungen.
	26b—a	Nach Metronom 200	— 3,32	— 2,8 — 2,5	—	— 0,01	+ 0,3 — 0,1	0	P.-H. Schleuderung.
T	28a—27	Nach Metronom 120	— 3,14	-0,55-0,8 period. fallend	—	— 0,12	+ 0,45 — 0,05	— 0,05	P.-H. z. Teil leichteres Schreiben.
	28c—b		— 3,45	—0,8+2,0 period. fallend	—	— 0,03	0 — 0,05	— 0,05	P.-H. gegen Ende zunehmend.
Ma	30b—a	Mäßig beschleunigt	— 2,0	— 0,5	—	+ 0,04	0	0	
	30b—c	(In bezug auf die folgende Kurve berechnet)	— 1,6	— 0,5	—	— 0,01	0	0	Puls an u. für sich kurz (0,66): vor dem Versuch 0,64, während desselb. 0,68, nacher 0,69; zunehmende Tendenz?
			Atemverlangsamung.						
L	32b—a		+ 10,0	— 0,9 — 0,1	+ 5,5 + 5,2	+ 0,02	+ 0 + 0,15	+ 0,2	

Ein Blick auf die Vorzeichen lehrt, daß es sich hier um klare und eindeutige Abhängigkeitsbeziehungen handelt. Die Ergebnisse stimmen mit den Untersuchungen anderer aufs beste überein (vgl. Knoll, Über den Einfluß der Atembewegungen auf den Puls des Menschen, Prag 1880). Die Atembeschleunigung bewirkt fast immer eine Pulsbeschleunigung; diese ist um so größer, je größer die Atembeschleunigung ist. In den meisten Fällen wächst zugleich die Höhe des Pulses, während die Atemschwankungen regelmäßig abnehmen.

Auch die Atemvertiefung ist ausnahmslos mit einer Pulsbeschleunigung verknüpft, mögen die durchschnittlichen Längen der Atmung vergrößert (L, T) oder verkleinert (C, H) sein, also unabhängig von der Atembeschleunigung. Dagegen zeigten die Pulshöhe und die Atemschwankungen hier ein wechselndes Verhalten. Daß diese Pulsbeschleunigungen, wie Knoll (S. 8) meint, sich nur ganz allmählich entwickeln, entspricht nicht meinen Beobachtungen. Eine starke Vermehrung der Atemschwankungen, welche man bei der allgemeinen Abhängigkeit des Blutdrucks von der Respiration wohl hätte erwarten können, zeigte sich nur bei der Versuchsperson H, die sich in der Norm durch ein schnelles und flaches Atmen auszeichnet.

Das einzige Beispiel einer künstlichen Atemverlangsamung ohne Vertiefung (zurückgehaltener Atem) läßt eine Pulsverlängerung erkennen, also die der Atembeschleunigung entgegengesetzte Wirkung.

Auch der Einfluß der körperlichen Tätigkeit drückt sich in klarer Weise in der folgenden Tabelle aus.

Tabelle X. Mechanische Tätigkeit.

Versuchs-Person	Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
			Heben geringeren Gewichts (2004 g).						
Mi	34—33	46 Hebungen	*	*	*	— 0,06	0—0,5	— 0,1	* Atmung bei 33 nicht registriert.
C	40—39		— 1,1	— 2,8 — 4,2	+ 2,0 + 8,8	— 0,18	0 — 0,5	— 0,2	Atem stark angehalten, Hebungen schnell und ausgiebig.
H	44b—a		— 0,06	— 0,7	0 + 1,1	— 0,04	—	+ 0,15	Pulsschreiber schleuderte.
L	46—45	Ruhige Hebungen ca. 2 pro Sekunde	— 1,10	— 0,80 — 0,65	— 0,8 — 0,1	— 0,01	+ 0,05 0	— 0,05	
T	52b—a	Nach Metronom 100	— 0,58	— 1,3 0	0 — 0,1	— 0,14	0	— 0,1	
			Heben des ganzen Gewichts (5983 g).						
Mi	35—36	65 Hebungen, starke Anstrengung	— 4,7	*	*	— 0,22	— 0,25 — 0,20	— 0,05	* Atmung von 36 nicht ganz verzeichnet.
	37—38		— 1,8	*	*	— 0,12	+ 0,1 — 0,2	—	* Atmung von 38 nicht ganz verzeichnet.
C	42—41	28 Hebung. d. ganz. Gew.	— 6,6	*	*	— 0,34	+0,2 0	— 0,3	* Atmung von 41 nicht ganz verzeichnet.
	42—43	(Im Vergleich zu nachher)	*	*	*	— 0,21	+ 0,25 — 0,05	— 0,4	* Atmung von 43 fehlt.
L	47b—a	54 Hebungen	— 0,62	— 0,45 0	— 0,5 — 0,1	— 0,08	— 0,2 — 0,35	0	
	48b—a	30 ruhige Hebungen	— 0,38	+ 0,8 — 0,3	— 0,3 0	— 0,04	— 0,15 — 0,20	—	
	49b—a		— 0,81	— 1,7 + 1,1	— 0,8 — 0,4	— 0,15	— 0,4 — 0,2	— 0,05	
T	53b—a		— 0,5	— 1,7 + 1,3	— 1,0 + 1,5	— 0,17	*	0	* P.-H. von 53b unsicher.
	54b—a		— 0,8	+ 0,8 + 2,1	— 1,5 0	— 0,18	— 0,05 — 0,05	— 0,1	
M	56b—a	35 Hebung. d. ganz. Gew.	— 0,3	— 0,2 + 0,2	0	— 0,07	*	*	* P.-H. u. P.-S. w. Schleud. n. festgest.

Körperliche Tätigkeit hat danach hier eine mehr oder weniger bedeutende Verminderung der Atemlänge und in Übereinstimmung damit eine ebensolche der Pulslängen zur Folge. Die Beschleunigung der Pulse hängt deutlich von der Größe der Anstrengung ab und nimmt mit dieser zu. Dabei nehmen die Atemschwankungen stark ab und auch die Pulshöhe fällt. Diese Erscheinungen sind unabhängig von mehrfach bei dem größeren Gewicht auftretenden Unregelmäßigkeiten der Atmung (längeres Anhalten, größere Unterschiede der Höhe), welche in den Tabellen nicht auffällig zum Ausdruck kommen.

Auf die körperliche Tätigkeit folgt die geistige Tätigkeit, deren Ausdrucksformen, wie schon der flüchtige Überblick über die Tabelle auf Seite 491 zeigt, eine überraschende Ähnlichkeit mit denen der körperlichen Tätigkeit aufweisen.

Auch bei der geistigen Tätigkeit beschleunigen sich Atem und Puls im Vergleich zum Ruhezustand. Dabei nehmen die Atemschwankungen ab, ebenso die Höhe des Pulses. Eine einzige Ausnahme (+ 0,05 Mi) findet sich hier beim Beobachten, wo eine geringe Zunahme der Pulslänge und damit auch der Atemschwankungen vorhanden ist. Ein solcher Fall würde sich leicht durch die Annahme erklären lassen, daß der Zustand der Norm nicht ganz frei vom Aufmerken war. Das Versuchsmaterial hätte sich leicht vermehren lassen. Es erschien dies überflüssig, um so mehr, als gerade dieser Versuch am leichtesten anzustellen ist und fast nie mißlingt. Er läßt sich mit voller Sicherheit als Vorlesungsversuch ausführen mit beliebiger Auswahl einer Versuchsperson aus einem großen Kreis und pflegt auf den unbefangenen Beobachter einen überraschenden Eindruck zu machen. Auch aus dem weiteren Grunde war Häufung des Materials hier überflüssig, weil bei Mosso, Mentz, Lehmann u. a. zahlreiche Beispiele zur Verfügung stehen. Alle Aufmerksamkeitsversuche gehören hierher.

Tabelle XI. Geistige Tätigkeit.

Versuchs-Person	Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
				Rechnen.					
Mi	57 b—a	(Im Vergleich zu vorher)	— 1,6	— 1,0 — 1,4	0*	— 0,17	— 0,4	— 0,1	* 57 a langsame Exspiration.
	57 b c	(Im Vergleich zu nachher)	— 1,5	— 1,7 — 2,1	0	— 0,07	*	*	* In 57 c nicht zu konstatieren.
C	59 b—a		— 2,8	0 — 2,0	— 1,0 — 0,9	— 0,20	— 0,15 — 0,20	— 0,05	
L	60 b—a	Addieren	— 1,29	— 1,1 — 2,1	— 0,8 — 0,5	— 0,05	— 0,05 — 0,1	0	
	61 b—a	Multiplizieren	— 1,27	— 0,3 + 0,1	— 0,4	— 0,10	— 0,10 — 0,15	0	
	61 b—c	(Im Vergleich zu nachher)	— 0,80	— 0,6	— 0,1 — 0,2	— 0,03	— 0,1 — 0,1	0	
T	62 b—a		— 0,9	— 1,3 — 4,5	+ 0,2 — 0,2	— 0,07	— 0,05 — 0,05	— 0,15	
				Beobachten.					
Mi	63 b—a		— 2,6	— 1,3 — 0,8	— 1,1 — 0,4	— 0,09	— 0,05 — 0,1	0	
	63 b—c		— 1,1	— 1,3 — 0,7	— 1,0 — 0,8	+ 0,05	+ 0,05 — 0,1	— 0,15	
						— 0,05	— 0,05—0,1	— 0,1	
H	64 b—a		— 0,6	— 0,6 — 1,0	0	— 0,05	*	— 0,1	* P.-H. wegen Schleud. nicht sicher zu bestimmen.
	64 d—c		+ 0,3	0	0	— 0,03	*	0	* P.-H. weg. Schleud. nicht sicher zu bestimmen.
	64 d—e	(Gegen nachher)	— 0,4	0	0	— 0,09	*	— 0,1	* P.-H. weg. Schleud. nicht sicher zu bestimmen.

Es ergibt sich somit aus den bisher mitgeteilten Tabellen das einfache Resultat, daß im Vergleich zur körperlichen und geistigen Ruhe die körperliche und geistige Tätigkeit, gemessen an den Puls- und Atemerscheinungen, einen ganz gleichartigen affektiven Zustand darstellen, der sich durch eine erhöhte Arbeit der Lunge und des Herzens mit seinen Folgeerscheinungen kennzeichnen läßt.

Einen schon nicht ganz einheitlichen Eindruck gewinnen wir von der folgenden Tabelle XII, bei der es sich um den körperlichen Schmerz handelt.

Tabelle XII. Körperlicher Schmerz.

Versuchs-Person	Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
			a) Starker Schmerz.						
Mi	67 b—a	Konstantes Stechen zwisch. Daum. u. Zeigef.	+ 3,3	+ 4,1 + 3,7	+ 1,3 + 2,1	— 0,06	— 0,3	+ 0,2	
	67 b — c	(Im Vergleich zu nachher)	+ 2,0 0	+ 1,8 + 0,4	+ 0.8 + 1,6	— 0,20	— 0,3	+ 0,4	
H	71 b—a	Kneifen	— 1,55	— 2,2 — 0,3	— 0,3 — 0,4	— 0,16	0	— 0,05	
Ma	72 b — a	Kneifen	— 0,6	— 1,6 + 0,6	— 0,2 — 1,0	— 0,04	0	0	
			b) Schwächere Schmerzreize.						
Mi	65 b—a	Kneifen	+ 0,5	+ 0,7 + 0,9	+	+ 0,03	0 — 0,2	0	
	66 b — a	Stechen	— 0,63	+ 0.8	+ 0,2 + 0,7	+ 0,02	- *	0	* Abnehmend ungefähr um 0,15.

C	68 b—a	Starkes Kneifen des Daumens	— 4,8	— 1,4 — 1,1	— 0,4 — 2,4	+ 0,05 nachher 0,01	0	— 0,25
	69 b - a	Schwächerer Druck	+ 1,3	+ 0,3 0	— 1,0 0	— 0,03	— 0,15 0	— 0,05
	70—69a	Kneifen des Unterarmes mit der Hand, Schmerz nicht stark	— 1,4	+ 0,5 — 0,6	— 1,2	— 0,08	0 — 0,1	— 0,2
Ma	73 b—a	Stechen	— 0,4	0 — 0,2	+ 0,2 — 0,1	+ 0,01	0	+ 0,05

Nur der starke Schmerz bietet in seinen Symptomen ein in sich übereinstimmendes Bild, Atem- und Pulsbeschleunigung mit Abnahme oder Stehenbleiben der Pulshöhen und Atemschwankungen. Dabei ist der Atem zuweilen vertieft, zuweilen verflacht. Wir hätten hier also den Typus erhöhter Tätigkeit vor uns. Bei den schwächeren Schmerzreizen wechselte Verlängerung und Verkürzung von Atem und Puls ohne Regel ab. Wer die mehrfach aufgestellte Regel, daß die Lust den Puls beschleunigt, die Unlust verlangsamt, hier aufrechterhalten wollte, müßte schon zu sehr gewagten Ausreden seine Zuflucht nehmen. Etwa daß die Fälle der Pulsbeschleunigung beim schwächeren Druck (C) eine Folge der Freude über die wider Erwarten gering ausgefallene Schmerzeinwirkung gewesen seien, sowie daß starke Schmerzen von Lust- und Unlustreizen unterschieden werden müßten. Wir begnügen uns mit der Feststellung, daß geringere Schmerzeindrücke weder die Folgeerscheinungen des bloßen Aufmerkens rein zeigen, noch auch sonst einen einheitlichen Typus eigener Art darstellen. Daß die einzelnen Personen bei schmerzhaften Einwirkungen sich verschieden verhalten können, indem sie sich entweder dem Reiz hingeben oder auch mit einem gewissen Widerstand ihn aufnehmen, daß also auch in den Symptomen Verschiedenheiten sich zeigen, wird nicht auffallend erscheinen, ebensowenig daß es nicht leicht gelingt, diese Verschiedenheiten im Versuch offenzulegen.

Aber Lust und Unlust sollen sich ja am leichtesten bei den niederen Sinnen des Geschmacks und Geruchs beobachten lassen, weil hier eine verhältnismäßig einfache und konstante Beziehung zu den Reizen vorliegt. Daß das letztere eigentlich doch nicht der Fall ist, dafür lassen sich freilich die gewöhnlichsten Beobachtungen aus dem täglichen Leben heranziehen. Der schönste Blumenduft kann mir unangenehm werden, ein sonst beliebter Geschmack lästig fallen. Beide können mir gleichgültig sein. Das würde zunächst gegen die Theorie vom Gefühlston sprechen, gegen die Annahme, daß Lust und Unlust mit irgendwelchen Empfindungen eine feste Verbindung eingehen. So viel ist trotzdem sicher, daß die Versuchspersonen sich über die Annehmlichkeit oder Unannehmlichkeit eines Geruchs- oder Geschmacksreizes leicht äußern, und daß insofern wenigstens Klarheit über die Art des Gefühls, über das Objekt des Versuchs vorhanden zu sein pflegt. Dabei trägt meist die Aussage über die Unlust einen bestimmteren Charakter, wie die über die Lust, insofern auch das als »ganz angenehm« bezeichnet wird, was uns nicht belästigt, nicht irritiert, falls es uns nur irgendwie beschäftigt. Doch sehen wir uns zunächst die Übersicht über die Versuchsergebnisse an.

Tabelle XIII. Geschmack.

Versuchs-person	Nr.	Bezeichnung	Atmung			Puls			Bemerkungen
			Länge	Höhe	Pause	Länge	Höhe	Schwan-kung	
			a) bitter (Chinin).						
Mi	75—74		— 0,59	+ 2,2	0	— 0,02	— 0,1 + 0,15	0	
C	79—78		— 0,94	— 0,9	0	— 0,10	— 0,2 — 0,35*	0	* Schleuderung bei der Normalkurve.

	80—78	Ausgestreckte Zunge	+ 0,93	+ 2,3	+ 1,5 + 2,0	— 0,02	— 0,2 — 0,25*	+ 0,15	
	81—78	[Nachwirkung	+ 0,08	**	**	— 0,10	— 0,2 — 0,3*	+ 0,15]	** Atmung bei 81 n. ganz verzeichnet.
		b) süß (Zuckerwasser, Saccharin).							
Mi	83—82	Zuckerwasser	— 1,3	+ 0,8 + 0,3	—	+ 0,02	— 0,05 — 0,05	+ 0,1	
	84—82	Ohne neue Applikation (Vergleich mit einer N.-K.)	— 1,85	+ 0,4	0	+ 0,06	— 0,05 0	0	
	86—87	Zuckerwasser, behaglich; (geg. Nachwirkungskurve)	+ 0,73	+ 0,2	*	+ 0,02	0	— 0,05	* Nicht sicher zu messen.
C	91—90	Saccharin	+ 0,32	+ 0,5 + 0,7	+ 1	— 0,09	0 — 0,1	0	P.-H. mangelhafte Schreibung.
	93—92	(Bei der N.-K. große Atempause)	+ 0,45	+ 1,2	— 2,5 — 1,2	— 0,05	— 0,05 — 0,15	0	P.-H. mangelhafte Schreibung. 92 evtl. Nachwirkungskurve.
	94—92		+ 0,06	— 0,3 + 1,7	— 2,0 — 1,5	— 0,03	0 — 0,1	— 0,2	Immer noch bedeutende Atemschwankung.
	95—92		— 0,47	— 1,3 + 0,9	— 1,5 — 0,5	— 0,05 — 0,06	0 — 0,5	— 0,2	
L	98 b—a	Zuckerwasser	+ 0,18	— 3,7 — 2,6	— 0,1 + 0,85*	+ 0,2	+ 0,1 — 0,05	— 0,1	* Atmungspause in 98 b anfangs lang.
	99—98 a	Zuckerwasser	+ 0,06	+ 1,0 + 2,2	— 0,4 + 0,05	— 0,03	— 0,15 0	+ 0,1	

Tabelle XIV. Geruch.

Versuchsperson	Nr.	Bezeichnung	Atmung: Länge	Atmung: Höhe	Atmung: Pause	Puls: Länge	Puls: Höhe	Schwankung	Bemerkungen
			a) angenehm. Parfum Ideal.						
Mi	127—126	Parfum Ideal Ruhiges Einziehen, nicht sehr stark, angenehm	+ 1,07	— 0,1 — 0,7	0	— 0,01	— 0,05 0	0	
	129—128	Ruhiges Einziehen, nicht sehr stark, angenehm	+ 0,53	*	0 + 1,0	+ 0,06	**	+ 0,05	* A.-H. Schreiber verlängert. ** In 120 gegen Ende abnehmend.
	131—130	Starkes Einziehen von der Schale, angenehm	— 0,24	— 2,2 — 1,2	+ 3,4 + 1,5†	— 0,03	— 0,1 — 0,05	0	† A.-H. Schreiber schlaff.
	133—132	Starkes Einziehen von der Schale, angenehm	— 0,9	mindest. + 0,7*	*	— 0,06	— 0,05 — 0,05	+ 0,1	* Atmung in 133 nicht ganz verzeichnet.
C	168—167	Ruhiges konstantes Einziehen, angenehm	— 1,81	+ 0,3 0	— 1,0 — 1,5	0	— 0,05 0	— 0,1	
	170—169	Ruhiges konstantes Einziehen, nicht so deutlich	+ 0,83	+ 1,2 — 0,4	+ 0,3 0	+ 0,05	0 — 0,05	+ 0,2	
	172—171	Ruhig. konstant. Einziehen, Annehmlichkeit merklich	— 1,14	— 0,7 — 0,2	— 0,1 — 0,05	+ 0,06	— 0,15 — 0,05	+ 0,15	
	174—173	Stark. Einzieh. d. ausgegoss. Parfums, Gefühl angenehm	— 2,64	— 3,2 — 0,8	— 1,3 — 2,0	0	+ geg. Ende	+ 0,05	
	176—175	Stark. Einzieh. d. ausgegoss. Parfums, Gefühl angenehm	— 1,95	— 2,2 — 0,8	— 1,0 — 1,6	+ 0,02	0	+ 0,2	
Mi	135—134	Reiner Alkohol auf Schale	— 2,31	+ 2,8 + 2,1	0	— 0,05	— 0,1 — 0,05	0	

				Violetta vera.					
Mi	137—136	Gefühl indifferent	+ 1,01	+ 1,6 + 2,0	0 — 0,9	+ 0,10	— 0,05 + 0,05	+ teilweise	
	139—138	Ruhiges tiefes Einziehen, klein wenig angenehm	+ 1,73	+ 1,5	+ 1,0 + 3,0	— 0,03	+ 0,1 + 0,05	+ 0,3	
	141—140	Starkes Einschnaufen, leidlich angenehm	— 5,37	— 0,8 — 1,0	—	— 0,11	0 + 0,05	— 0,1	
	143—142	Starkes ruhiges Einziehen, nicht unangenehm	— 2,31	— 0,3 — 0,7	+ 1,8	— 0,08	— 0,1 — 0,05	+ 0,35	
C	161—160	Ruhiges Einatmen, Kitzeln im Hals	— 0,8	+ 1,1* + 0,9	*	— 0,01	0	0	* A. nicht ganz verzeichnet.
	163—162	Ruhiges Einatmen, Kribbeln	+ 1,06	+ 0,8* + 0,2	*	+ 0,01	0	+ 0,05	* Atmung in 163 nicht ganz verzeichnet.
	165—164	Kräftiges Einschnaufen	— 4,25	— 2,6 0	—*	— 0,10	+ 0,1 + 0,25	— 0,05	* Atmung in 165 zum Teil flackerig.
				Rosenduft.					
L	125 b—a		— 0,2	— 3,3 — 4,2	— 0,9 — 1,0	0	0 + 0,1	0	
	180 b—a		— 0,13	+ 1,7 + 2,1	— 0,6 — 0,7	— 0,01	+ 0,05 + 0,1	0	
	181 b—a		+ 0,33	— 1,4 + 2,5	— 0,7 — 0,4	— 0,01	— 0,05 + 0,25	+ 0,05	
				Menthol					
Mi	145—144	Ruhiges Einziehen auf Schale; Gefühl anziehend	— 0,3	*	*	— 0,05	— 0,1 + 0,2	+ 0,3	* Atmungsschreiber in 145 schlapp.
	147—146	Starke Lösung; Gefühl stark unangenehm. Atem zurückgehalten	+ 2,75	**	**	+ 0,02	+ 0,1*	+ 0,15	* Pulsschreiber in 146 fest. ** Atmung von 147 nicht ganz verzeichnet.

Tabelle XIV (Fortsetzung).

Versuchs-person	Nr.	Bezeichnung	Atmung Länge	Atmung Höhe	Atmung Pause	Puls Länge	Puls Höhe	Puls Schwankung	Bemerkungen
				Menthol.					
Mi	149—148	Starke Lösung; Gefühl auch unangenehm, aber nicht so stark	+ 3,6	+ 2,5	+ ca. 4,0	— 0,03	0	0	
C	153—152	Ruhiges Einziehen, Gefühl angenehm	— 0,79	— 0,6 + 0,2	— 1,7 — 0,5	+ 0,02	+ 0,05 — 0,05	— 0,05	
	155—154	Wiederholtes starkes Einziehen, Gefühl angenehm	— 3,08	+ 0,2 0	— 0,7 — 1,7	+ 0,03	+ 0,05 + 0,15	+ 0,05	
	157—156	Forciertes Einziehen, Gefühl angenehm	— 3,14	— 0,8 — 0,5	— 0,3 — 0,5	— 0,09	+ 0,05 + 0,05	+ 0,15	
L	178—177 a		+ 0,65	+ 2,0 + 3,9	— 1,0 + 0,7	+ 0,01	0 + 0,1	— 0,1	
	177 b—a	Ziemlich stark angenehm	+ 1,85	+ 6,4 + 4,9	+ 0,2 + 0,6	0	0 + 0,1	— 0,1	
				b) Geruch unangenehm.					Bei der Normalkurve schon Geruch im Zimmer.
Mi	101—100	Asa fœtida	+ 1,4	+ 1,5 + 2,6	0	— 0,03	— 0,1 — 0,25	0	P.-L. Pulse der Vergleichskurve sehr kurz.
	103—102	Gefühl abgestumpft	+ 1,31	+ 2	0	— 0,03	— 0,05 — 0,05	0	
	105—104	Qualm und Kribbeln in der Nase	+ 0,03	+ 0,2 + 1,5	0	0,0	— 0,05	— 0,05	Zunehmende Abstumpfung. Die Kurven sind am selben Tage aufgenommen wie von C, aber nachher.

C	108—107	Asa fœtida unangenehm	— 0,4	*	—**	— 0,16	0 + 0,1	— 0,5	* Atmung von 108 nicht ganz verzeichnet. ** Pause kürzer. P.-H. anfangs niedriger, nachher höher als bei der N.-K. P.-H. mehr hohe Pulse als niedrige.
	110 - 109	unerträglich unangenehm	— 0,68	+ 1,5 — 0,2	—	— 0,10	+ 0,05 0	— 0,3	
	112 – 111	sehr unangenehm	— 0,8	+ 0,2 — 1,0	0	— 0,11	+ 0,05 + 0,1	— 0,35	
L	115 b—a	Asa fœtida ganz schwach	— 0,06	— 0,1 — 0,1	+ 0,2 + 0,4	+ 0,01	0 + 0,1	+ 0,05	P.-L. In bezug auf die vorhergehende Normalkurve Pulsverkürzung.
	115 c—a	nicht so stark, Reagenzglas an der Nase	+ 0,20	0	— 0,2 + 0,6	— 0,08	+ 0,05 0	0	
	116–115 a	starke Entwicklung, etwas Brandgeruch, nicht sehr unangenehm	+ 0,56	— 0,5 + 1,2	+ 0,1 + 1,6	— 0,01	— 0,05 + 0,3	—0,025	P.-H. etwas Schleuderung.
	117 - 115 a	Gefühl diesmal deutlich unangenehm; starke Entwicklung	+ 0,14	— 0,4 + 1,7	— 0,3 + 0,6	— 0,01	+ 0,4 + 0,15	+ 0,05	P.-H. etwas Schleuderung
	120 b—a	Isonitril, nicht sehr unangenehm	+ 0,12	+ 1,3 + 0,7	— 0,3 — 0,1	— 0,07	+ 0,05* + 0,15	— 0,15	* In 120 b hohe plethysmographische Welle.
	121–120 a	Dasselbe	— 0,55	+ 2,2 + 1,7	— 0,9 — 0,7	— 0,06	— 0,15 + 0,25	— 0,1	
	122–120 a	Geruch durch Handbewegung zugefächelt	— 0,96	+ 0,6 + 1,2	— 1,1 — 0,6	+ 0,02	— 0,20 — 0,15	— 0,1	P.-H. Einfluß der Dauer des Versuches?
	123–120 a	Nachwirkung im noch stark riechenden Zimmer	— 0,42	+ 0,7 + 1,1	— 1,2 — 0	+ 0,02	— 0,1 — 0,1	— 0,05	
	124 – 114	Schwefelwasserstoff	— 1,1	*	**	+ 0,03	— 0,05 — 0,1	0	* A.-H. von 124 durchweg sehr flach. ** A.-P. nicht meßbar.

Tabelle XIV (Fortsetzung).

Versuchs-person	Nr.	Bezeichnung	Atmung			Puls			Bemerkungen
			Länge	Höhe	Pause	Länge	Höhe	Schwankung	
			Geruch unangenehm.						
L	125c—a	Merkaptan, nach Rosenduft, berechnet in bezug auf die Normalkurve	— 0,1	— 2,0 + 0,3	—	— 0,12	— 0,05 + 0,25	0	
	125d – a	Fortsetzung	+ 0,4	— 1,2 + 1,6	—	— 0,02	0	+ 0,1	

Beginnt man diese Tabellen nach dem reinen Gesichtspunkte Lust-Unlust auf ihre Eigenarten zu untersuchen, indem man für die lustbetonten Reize bestimmte Symptome, für die unlustvollen andere erwartet, so wird man bald genug das Vergebliche dieser Bemühungen einsehen. Bei dem unangenehmen Geschmacksreiz (Chinin) haben wir in der Reihe der Pulslängen und Pulshöhen allerdings stets das gleiche Vorzeichen; es ist hier eine Pulsverkürzung und Höhenabnahme eingetreten, beim unangenehmen Geruch sind aber für die Pulslänge vier Ausnahmen vorhanden, und die Pulshöhen wechseln ohne Regel. Die angenehmen Geschmäcke und Gerüche weisen überall einen regellosen Wechsel der Vorzeichen auf. Die Atemschwankungen bei dem angenehmen Geschmack sind ebenfalls ziemlich einheitlich, ihre Größe bleibt gleich oder nimmt ab, nur einmal zu, die gleiche Erscheinung

bei den angenehmen Gerüchen zeigt regelloses Durcheinander der Vorzeichen. Die Atemvorgänge sind in der verschiedenartigsten Weise beeinflußt. Beim Geschmacksreiz wird dies schon durch die Art der Reizanbringung so sein, bei Geruchsreizen unangenehmer Art ist das ruhige Einziehen eine an sich nicht leicht durchzuführende Aufgabe. Einen irgendwie festen Typus des Angenehmen und des Unangenehmen, der Lust und der Unlust, finden wir also nicht; kein einziges der in Betracht gezogenen Symptome erweist sich als wirklich konstant.

Auch im einzelnen ergibt sich nirgends etwas Bestimmtes. Am ehesten würde noch die Pulslängen- und Pulshöhenverkleinerung beim bitteren Geschmack in Betracht kommen. Denn diese Erscheinungen sind bei zwei Versuchspersonen die gleichen, obschon der Atem bei der einen (C) in zwei Fällen eine Längenzunahme erfahren hat. Diese Zunahme ist aber in einem Falle so klein (0,08), daß sie keine Bedeutung hat, im anderen Falle ist der Atem vertieft. Für diese selbe Versuchsperson (C) stimmen die Erscheinungen beim süßen Geschmack mit denen beim bitteren aufs beste überein, geringe Beschleunigung des Pulses und Abnahme der Pulshöhe, nur die Atemschwankungen weichen ab. Bei den beiden anderen Versuchspersonen tragen die Erscheinungen für Bitter und Süß keinen so gleichartigen Charakter. Bei Mi verlangsamt sich der Puls infolge des süßen Reizes um denselben Betrag, wie er sich bei Einwirkung des bitteren verkürzt, um 0,02. Die Zahl ist aber zu klein, um als charakteristisch gelten zu können. Bei L, der dritten Versuchsperson, haben wir sowohl Pulsverkürzung als Pulsverlängerung beim Süßreiz, dem eine aber auch wieder allzu geringe Atemverkürzung und Atemverlängerung parallel geht. Von einem gesetzlichen Verhalten also kann keine Rede sein. Beim unangenehmen Geruch

nehmen die Atemzüge an Länge zu bei Mi, dagegen ab bei C, und L zeigt beide Vorkommnisse im Wechsel. Die Pulslänge ist trotzdem verkürzt, sowohl bei Mi als bei C. Diese Beschleunigung ist bei Mi eine geringe und kann von der gleichzeitigen Vertiefung der Atmung herrühren, ebenso wie bei C von der zugleich auftretenden Vertiefung und Beschleunigung der Atmung die hier stärker auftretende Pulsverkürzung abhängen wird. Bei der dritten Versuchsperson (L) läßt sich diese Zurückführung der Pulsänderungen auf die Atemänderungen aber wieder nicht durchführen. Bei dieser sind die Zahlen sämtlich ziemlich klein, die Vorzeichen wechseln beim Puls und Atem. Die Versuchsperson ist kaum durch die Reize beeinflußt. Nur zeigt sie mehrfach eine auffallende Vergrößerung der Pulshöhe.

Beim angenehmen Geruch sehen wir einen noch stärkeren Wechsel der Vorzeichen wie beim unangenehmen, ohne daß eine bestimmte Tendenz sich feststellen ließe. So haben wir bei Mi Zunahme der Atmung einmal mit Abnahme und zweimal mit Zunahme der Pulslängen verbunden, bei C Abnahme der Atmung einmal mit Zunahme der Pulslänge, das andere Mal mit Abnahme, dann auch wieder Zunahme der Atemlänge mit Zunahme der Pulslänge. Überall sind die Zahlen klein und bleiben zumeist innerhalb der auch ohne Ursachen verständlichen Schwankungen. Wo eine besonders große Zahl sich findet, wie bei Mi eine Atemlängenverkürzung von 5,37, ist eine entsprechende Wirkung auf die Pulslänge nicht ausgeblieben. Eigentümlich ist bei der gleichen Versuchsperson die starke Zunahme der Pulslänge um 0,10 bei gleichzeitiger Verlängerung und Vertiefung des Atems. Die Verlängerung scheint hier einseitig gewirkt zu haben. Das Gefühl wurde gerade in diesem Falle als indifferent bezeichnet.

Wie man also auch die Tabellen durchmustert, eine klare

Funktion zwischen den Puls- und Atemerscheinungen und den Gefühlen der Lust und Unlust läßt sich daraus in keiner Weise entnehmen. Es tritt aber nirgends eine Erscheinung auf, welche sich von dem Gewöhnlichen in irgendeiner auffallenden Weise entfernte, welche im Widerspruch stände mit dem, was wir über den natürlichen Wechsel dieser Erscheinungen sonst wissen und annehmen dürfen. Geschmacks- und Geruchseinwirkungen sind nicht eingreifend genug, um eine bestimmte funktionelle Abweichung in den Puls- und Atemerscheinungen von denen der Norm zu erzielen. Sie nehmen auch die Aufmerksamkeit nicht in dem Maße in Anspruch, daß die bekannten Reaktionen der Aufmerksamkeit in klarer Weise hervortreten könnten. Viele der vorhandenen Abweichungen von der Norm werden sich allerdings als einfache Aufmerksamkeitsreaktionen erklären lassen, andere sind als Folgen der Atemveränderungen verständlich; ein guter Teil, der noch übrigbleibt, besteht in zufälligen Variationen.

Etwas günstiger gestaltet sich das Ergebnis bei der Untersuchung der durch innere Versenkung erzeugten Stimmungen und Affekte.

Tabelle XV. Stimmungen.

Versuchsperson	Nr.	Bezeichnung	Atmung			Puls			Bemerkungen
			Länge	Höhe	Pause	Länge	Höhe	Schwankung	
			a) freudige.						
Mi	182—183	Vorgestellte Lustigkeit	— 1,87	— 0,2 + 0,9	—	— 0,09	0	— 0,15	
	185—184	Vorgestellte Lustigkeit, nicht besonders	— 0,73	*	*	— 0,16	+ 0,05	— 0,2	* In 185 Atmungsschreiber schlapp.

Tabelle XV (Fortsetzung).

Versuchsperson	Nr.	Bezeichnung	Atmung			Puls			Bemerkungen
			Länge	Höhe	Pause	Länge	Höhe	Schwankung	
			a) freudige.						
	187—186	Heitere Freude, gut	— 0,80	— 1,0 0	0* + 2,5	— 0,17	— 0,05 0	— 0,05	* In 187 rasche Inspiration.
C	189—188	Vorgestellte Lustigkeit, nicht sehr stark	+ 1,20	— 0,1 + 0,1	— 0,5	— 0,05	+ 0,05 + 0,05	0	
L	193a—214	Vergnügtheit	— 0,57	*	*	+ 0,07	+ 0,05 — 0,05	—	* Atmung in 193a zu flach.
	193b—214		— 0,08	*	*	+ 0,06	+ 0,05 — 0,05	—	* Atmung in 193b zu flach.
	194—214	Anhören einer humoristischen Erzählung	— 0,6	*	*	+ 0,08	— 0,20 — 0,15	0	* Atmung in 194 zu flach.
	195a—214		*	*	*	0	— 0,10 — 0,15	0	* Atmung in 195 zu flach.
	195b—214		*	*	*	— 0,03	— 0,15 — 0,20	0	* Atmung in 195 zu flach.
	195c—214		*	*	*	+ 0,06	— 0,15 — 0,10	— 0,1	* Atmung in 195 zu flach.
	195d—214		*	*	*	+ 0,06	— 0,05 — 0,05	—	* Atmung in 195 zu flach.
	195e—214		*	*	*	+ 0,05	0 — 0,05	0	* Atmung in 195 zu flach.
	195f—214		*	*	*	+ 0,11	0	+ —	P.-S. anfangs größer, nachher kleiner.
	196a—214	Scherzfragen	*	*	*	+ 0,11	+ 0,10 + 0,15	0	

	196b–214		*	*	*	+ 0,13	— 0,1 + 0,1	—	P.-S. Verkürzung gegen Ende.
	196c–214		*	*	*	+ 0,08	— 0,05 — 0,05	+	P.-S. Verlängerung gegen Ende. * Atmung in 196 zu flach.
		b) unangenehm.							
Mi	198—199	Vorgestellte Traurigkeit	+ 1,25	+ 1,6	+ 0,2 + 2,0	— 0,20	+ 0,2	— 0,05	
	201—200	Vorgestellter Kummer, nicht besonders	+ 4,67	+ 0,4 + 0,9	+ 0 + 2,0	+ 0,05	0	+ 0,35	
	205—204	Traurigkeit (Gedicht)	+ 1,72	+ 1 — 0,5	+ 1,0 + 2,6	— 0,12	+ 0,05 + 0,3	— 0,1	
	213—202	Sehnsucht (Gedicht)	+ 1,1	— 1,3	— 0,6 + 3,3	— 0,13	+ 0,1 + 0,2	— 0,05	
C	191—190	Satirische Stimmung. Das neue Jahrhundert Spiteles	— 0,2	— 1,2 — 2,7	—	— 0,04	0 + 0,05	0	
	207—206	Vorgestelltes Leid, mäßig gut	+ 3,23	— 1,2 + 1,2	+ 0,15 + 0,20	+ 0,06	+ 0,05 + 0,05	+ 0,25	
	209—208	Elegische Stimmung, »Kellers Abendlied«	+ 3,24	+ 0,4	—*	+ 0,10	+ 0,05 + 0,1	+ 0,1	* In 209 ganz langsame Ausatmung.
	211—210	Trauer; gut. Rich. Wagners Heimführung	+ 4,3	+ 0,4 0	—*	+ 0,04	+ 0,1 + 0,1	+ 0,2	* In 211 ganz langsame Ausatmung.
	213—212	Ärger	— 0,13	+ 0,9 + 0,2	— 1,4 — 1,2	— 0,04	0	— 0,15	
L	215—214	Wehmütige Stimmung (Gedicht)	+ 0,05	+ 1,7 + 2,0	0	+ 0,01	0 — 0,1	— 0,05	
	216—214	Angst (Vorstellen eines Unglücksfalles)	— 0,92	— 1,1 + 0,5	— 0,5 — 0,5	— 0,04	+ 0,05 — 0,05	—*	* Pulsschwankung in 216 kaum vorhanden.
	217—214	Ärger und Wut (vorgestellt)	— 0,9	+ 1,9 + 1,8	— 0,7 — 0,7	+ 0,01	0 + 0,1	+ 0,05	

Durchmustern wir diese Tabelle, so fällt sofort ein charakteristischer Unterschied von allen vorhergehenden in die Augen. Wir finden nicht bloß mehrfach und mit kleinen Zahlen, sondern reihenweise das Pluszeichen in der Rubrik der Pulslänge, in welcher wir, abgesehen von den Schwankungen der vorigen Tabelle, bisher überall das negative Vorzeichen erhalten haben. Auch hier handelt es sich nicht um Affekte, die durch ihre Lust- oder Unlustseite bestimmt wären, sondern um sowohl lustbetonte als unlustbetonte Stimmungen. Die Erscheinung tritt auf beim Anhören humoristischer Erzählungen und Scherzfragen, sodann bei vorgestelltem Kummer oder Leid und bei elegischer Stimmung, also bei ruhigen Lust- und Unlustaffekten. In den ersten Fällen haben wir zugleich eine fast ausnahmslose Verminderung der Pulshöhe, bei den kummervollen Stimmungen dagegen eine entsprechende Vergrößerung. Die Atemhöhe ist in diesen Fällen vergrößert (C), so daß die Pulsverlängerung noch auffallender wird. Bei den scherzhaften Erzählungen und Scherzfragen konnte der Atem leider wegen der Unregelmäßigkeit der Bewegungen nicht festgestellt werden.

Wir dürfen also hieraus die wichtige Tatsache entnehmen, daß es einen Affekttypus gibt, welcher im Verhältnis zur Ruhe der Norm sich durch eine größere Langsamkeit der Puls- und Atemtätigkeit kennzeichnen läßt, einen Typus, der zu den Tätigkeitsformen den geraden Gegensatz zu bilden scheint. Ähnliche Ergebnisse hat übrigens schon Mentz a. a. O. mitgeteilt. Versuchen wir es, aus den Zahlen weitere und bestimmtere Unterschiede herauszulesen, etwa die bestimmte Art eines Affektes in den Kurven dargestellt zu sehen, so stoßen wir sofort auf die größten Schwierigkeiten. Die Symptome reichen dazu nicht aus. Von einer Erörterung im einzelnen kann ich um so mehr absehen, als in dem (S. 514 ff.) folgenden Aufsatz noch eine Reihe gleichartiger Versuche mitgeteilt wird,

bei welchen durch die gewählte graphische Darstellung diese Verhältnisse noch übersichtlicher zur Erscheinung kommen werden.

Aus dem Versuchsmaterial, wie es nach erfolgter Bearbeitung vorliegt, lassen sich, soweit ich sehe, keine weiteren Schlüsse ziehen.

Ehe ich zum Abschluß komme, möchte ich noch kurz die Frage streifen, inwieweit denn die Versuche anderer mit den obigen Ergebnissen übereinstimmen. Daß wir eine ganze Reihe von Versuchen anders auffassen müssen, als es von den Autoren selbst geschehen ist, folgt aus der zuerst gegebenen Kritik von selbst. Vieles, worauf Wert gelegt ist, darf unter die Symptome von Affekten nicht gerechnet werden. Strenge Anwendung methodischer Grundsätze schaltet eine große Anzahl von Schlüssen, welche man unbedenklich gezogen hat, aus. Aber auch darüber hinaus finden sich noch Widersprüche, von denen besonders der eine hervorzuheben ist, daß Mentz für die unwillkürliche Aufmerksamkeit und Meumann und Zoneff sogar für die willkürliche Aufmerksamkeit eine Pulsverlängerung finden, anstatt der von uns und anderen behaupteten Pulsverkürzung. Würde dies richtig sein, würden unsere Feststellungen über die geistige Tätigkeit sich als anfechtbar oder unrichtig erweisen, so würde sich damit die ganze Physiognomie, der ganze Charakter unserer Ergebnisse ändern. Die Pulslänge gehört außerdem, abgesehen von den besprochenen Fällen der Senkung und dem Einfluß der falschen Fraktionierung, zu den am sichersten feststellbaren Erscheinungen, so daß wir uns nicht auf die technischen Fehler allein zurückziehen dürfen. Die Mentzsche Arbeit macht dazu in ihrer ganzen Anlage und auch in der Berechnungsweise einen zuverlässigen Eindruck. Ich glaube auch, daß der Widerspruch sich leicht aufklären läßt. Mentz fand die Pulsverlängerung nur bei

unwillkürlicher Aufmerksamkeit, während er für die willkürliche Aufmerksamkeit (vgl. S. 110 u. 565 a. a. O.) im allgemeinen in Übereinstimmung mit uns die Pulsverkürzung festgestellt hat. Der Zustand unwillkürlicher Aufmerksamkeit aber, welcher sich bei ihm durch die Pulsverlängerung kennzeichnet, kann mit dem Zustande unserer geistigen Tätigkeit nicht im entferntesten verglichen werden; es ist geradezu ein Zustand innerer Remission, ein unserm Normalzustand gleichender Ruhezustand, der dann selbstverständlich eine Pulsverlängerung aufweisen muß. Mentz schrieb nach S. 75 der Versuchsperson vor, die Empfindung möglichst in sich entstehen zu lassen, das bedeutet nichts anderes als eine Aufforderung zur normalen Ruhe. Er zieht selbst für seine Beobachtung der unwillkürlichen Aufmerksamkeit eine Parallele zu einem Falle bei Mosso. Hier war infolge des Gefühls des »sich Schämens« oder des »Verletztseins« die Pulszahl eines Reagenten gewachsen. »Dann trat zufällig Uhrschlagen und gleich darauf Mittagsläuten der Kirchenglocken ein, und dies veranlaßt sofort eine Verlängerung des Pulses« (S. 78). Die Verlängerung ist nicht etwa Folge des akustischen Reizes als solchen, sondern Folge der durch die Ablenkung auf den akustischen Reiz entstehenden allgemeinen Beruhigung. Es sind Allgemeinzustände, welche sich in den Symptomen ausdrücken. Diese allgemeinen affektiven Zustände mit ihren bestimmten Eigenarten wechseln infolge von Reizen. Aber der Reiz bewirkt darum nicht das einzelne Symptom. Die Abhängigkeit des Pulses und Atems von akustischen Reizen besteht also in gewissem Sinne überhaupt nicht.

Auf ähnlichen Versuchsvorschriften beruht es, wenn Mentz für das Gefühl der Lust eine Erhöhung der Pulslängen durch das Experiment gewinnt. Hier wurde der Reagent angewiesen, »zunächst auf die Empfindung zu achten, sodann aber,

wenn nach kurzer Pause dieselbe Reihe gegeben wurde, durch Nachlassen der Muskelspannungen dem Gefühlston Gelegenheit zu seiner Entwicklung gegeben« (S. 371). Dem lusterregenden Reiz ging also keineswegs die Ruhe, sondern eine Anspannung vorher. Es war also sehr wohl möglich, daß bei einem angenehmen Reize die Versuchsperson in den Zustand größerer Ruhe überging. Daraus ergibt sich die Pulsverlängerung. Dagegen läßt sich über die auffallende, mit der Intensität der Schalleindrücke regelmäßig steigende Pulsverlängerung nichts Bestimmtes behaupten. Es wurden hier nur wenige Pulse gerechnet. Nimmt man an, daß die Versuchsperson in Erwartung der Reize den Atem angehalten hat, so können die gerechneten Pulse lange Exspirationspulse gewesen sein. Es war dann verständlich, daß ihre Länge mit der Erwartung stieg.

Meumann und Zoneff haben aber selbst bei willkürlicher Aufmerksamkeit eine Verlangsamung des Pulses und eine Hemmung der Atmung gefunden (S. 44). Auch hier nehme ich an, daß der Indifferenzzustand Meumanns und unser Normalzustand verschieden gewesen sind. Dazu kommen andere Umstände. Die Hemmung der Atmung soll bestehen in einem totalen oder partiellen Stillstand oder aber nur in einer »Verflachung, die vielfach von einer Beschleunigung des Atemholens begleitet ist« (S. 44). Diesen letzteren Zustand, Verflachung mit Beschleunigung, als »Hemmung« zu bezeichnen, dürfte nicht gerade zweckentsprechend sein. Also nur im Ausdruck, nicht in der Sache weicht dies Ergebnis von dem unseren und demjenigen von Mentz u. a. ab.

Wie steht es nun mit der Verlangsamung des Pulses, die Meumann und Zoneff für die willkürliche Aufmerksamkeit gefunden haben? Wir wissen nicht, ob wir die Berechnungsweise Meumanns richtig verstanden haben. Seine Tabelle

auf S. 14, welche die gemessenen Größen anschaulich vor Augen stellen soll, ist keineswegs leicht verständlich. Ich beziehe die Urteile »verlangsamt« und »beschleunigt«, was den Puls betrifft, auf das Verhältnis der gemessenen Fraktionen seiner Reihen, dagegen das Urteil über die größere oder geringere Frequenz auf die Mittelwerte der ganzen Reihen, die miteinander verglichen wurden. Es hätte also deutlicher heißen müssen: Verlangsamung und Beschleunigung innerhalb der Einzelreihe, und Verhältnis der Frequenz der verschiedenen Einzelreihen. Von diesen beiden Angaben hat nach dem oben Ausgeführten der durch die willkürliche Fraktionierung der Pulse eines Zeitraums von 5 oder 10 Sekunden gewonnene Wert über die Verlangsamung oder Beschleunigung innerhalb einer Reihe keine Beweiskraft. Es hätte nicht willkürlich fraktioniert werden dürfen, sondern es mußte Rücksicht auf die Atemperioden genommen werden. Der andere Wert, der aus dem Vergleich der Mittelwerte gezogen wurde, ist um ein weniges charakteristischer. Auch hier hätten die Atemschwankungen berücksichtigt werden müssen. Die Anzahl der benutzten Pulse ist aber, und das ist noch wichtiger, zu klein, um ein klares Resultat zu bekommen. Die in Sekunden angegebene Gesamtlänge beträgt meist zwischen 10 und 20 Sekunden, es finden sich aber auch die Zahlen 5 Sekunden S. 21), 7 Sekunden usw. angegeben. Nur in seltenen Fällen handelt es sich um größere Zeiten, oder um eine größere Anzahl von Pulsen, was gleichbedeutend ist. Durchmustert man die unter Mittelwert angeführten Zahlen, so sieht man auch, daß sie meist nur um den Bruchteil einer Einheit voneinander verschieden sind. Die Versuche sind danach so angestellt, daß eine wirkliche Verschiedenheit des zu untersuchenden Zustandes von der Norm sich nicht überall hat entwickeln können. Es wird dies bestätigt durch den Umstand (S. 43), daß unter den

dort zusammengefaßten Aufmerksamkeitsversuchen 6 von 35 anstatt der vermeintlichen Verlangsamung des Pulses eine Beschleunigung aufweisen. Rechnet man auf S. 47 die Pulsschläge für die 70 Sekunden zusammen, während welcher die Aufmerksamkeitsversuche andauerten, so ergibt sich als Mittelwert die Zahl $11^1/_5$; es hat also gegenüber dem Indifferenzwert 11 eine tatsächliche Pulsbeschleunigung stattgefunden. Der Beweis dafür, daß mit der Zahl der Fehler einer Beobachtung oder mit Aufmerksamkeitsschwankungen die Pulsverzögerung wachse, ist somit nicht erbracht.

Auch die Feststellungen Meumanns und Zoneffs über Lust und Unlust können nicht als beweisend angesehen werden. Die Erscheinungen sollen für Lust »gerade den entgegengesetzten Charakter tragen« (S. 57), wie für Unlust. Man müßte dann am allerersten ganz eindeutige Versuchsergebnisse erwarten. Gerade das Gegenteil ist der Fall. Von den 88 Fällen der Lustversuche zeigen (S. 50) 15 eine Pulsbeschleunigung anstatt der behaupteten Verlangsamung, von den 66 Unlustfällen 12 eine Verlangsamung anstatt der behaupteten Beschleunigung, das sind 17% bzw. 18% Ausnahmen. Auch bei der Atmung sind die Ergebnisse nicht einheitlich. Noch unbestimmter ist das Ergebnis der Tabelle auf S. 72. Eine wirklich sichere Beeinflussung des Atems oder des Herzens durch Lust und Unlust ist auch hier nicht festgestellt.

Ich glaube daher nicht, daß diese Versuche einen wirklichen Widerspruch zu den wenigen positiven Ergebnissen, zu welchen wir gekommen zu sein glaubten, bilden. Sie lassen sich, soweit nicht auch Fehler mitsprechen, sehr wohl in unserem Sinne verständlich machen.

So sind wir denn beim Studium der Puls- und Atemsymptome unter verschiedenen psychischen Einflüssen zur

Feststellung des Vorhandenseins einer Reihe von Typen allgemeiner affektiver Zustände gelangt. Zunächst ist der Tätigkeitstypus scharf von der Ruhe unterschieden. Außerdem tritt noch deutlich ein Typus körperlicher und geistiger Remission, ein asthenischer Zustand hervor. Zur Charakterisierung spezieller Affekte, etwa der Furcht, des Mitleids, reicht die Methode heute noch nicht aus. Erstes Erfordernis dafür scheint mir eine genaue Erforschung der reflektorischen Bewegungsvorgänge zu sein. Festzustehen scheint auch, daß Lust und Unlust in keiner Weise bestimmte Symptomenkomplexe besitzen, durch welche sie sich voneinander unterscheiden. Körperliche und geistige Tätigkeit führen zu den gleichen Ausdruckserscheinungen. Die geistigen Prozesse einfachster Art erweisen sich schon als Tätigkeitsäußerungen. Wille und Intellekt sind danach zwar nicht, wie Spinoza meint, ein und dasselbe; sie kommen aber auch nicht getrennt vor. Sie sind verschiedene Seiten eines Gesamtvorgangs. Man darf dabei beim Intellekt nur nicht an die bloße Reproduktion vorhandener Vorstellungsverknüpfungen denken; es handelt sich um den tätigen, apperzeptiven, Begriffe oder Vorstellungsverknüpfungen schaffenden Verstand, um das primäre Urteilen. Ganz unwahrscheinlich erscheint bei anhaltender Beschäftigung mit diesen Zuständen dem Beobachter die Möglichkeit, solche Gesamtzustände aus etwaigen Elementen, Empfindungen und Gefühlen, abzuleiten oder entstehen zu lassen. Die psychologische Analyse führt zur Kennzeichnung der verschiedenen Seiten, der unterscheidbaren Gehalte des psychischen Gesamtgeschehens, aber nicht zu Elementen, aus denen ein zusammengesetzter Zustand entstanden gedacht werden kann. Alle Synthesis widerspricht der konsequent aufgefaßten Aktualitätstheorie, widerspricht auch der lebendigen Erfahrung des psychischen Geschehens. Es ist das der Grund, daß die Psychologie nie zu

einer theoretischen Wissenschaft werden wird. Der Ausdruck »Gesetz« wird hier stets mit der allergrößten Vorsicht zu gebrauchen sein. Trotz der scheinbar mehr negativen Ergebnisse hängt so die Frage, welche uns beschäftigt hat, aufs engste mit den wichtigsten Prinzipienfragen der Psychologie zusammen. Es ist nur zu wünschen, daß alle, welche sich mit der Lehre von den Gefühlen theoretisch befassen, es nicht unterlassen, sich die harte Wirklichkeit der Tatsachen dabei stets gegenwärtig zu halten.

11.

Atmung und Puls bei aktuellen Affekten

von

C. Minnemann.

Die folgende Arbeit wurde im unmittelbaren Anschluß an die vorstehenden Untersuchungen von Professor Martius in dessen Abwesenheit nach Beginn der Ferien unternommen und mit denselben Hilfsmitteln wie diese (Lehmannscher Pneumograph und Plethysmograph mit offenem Hahn) durchgeführt. Es sollte festgestellt werden, ob die Atmungs- und Pulsverhältnisse bei natürlichen Affekten die gleichen sind wie bei den reproduzierten Stimmungen, und ob für beide dieselben Folgerungen gelten. Zur Hervorbringung der wahren Affekte bedurfte es teilweise einer Mystifikation der Versuchspersonen, worüber diese möglichst bald nachher aufgeklärt werden mußten. Daher ließen sich mit jeder Versuchsperson nur in einer einzigen Sitzung Versuche anstellen. Darin liegt ein Nachteil, zugleich aber auch der Vorzug, daß sich die Wirkungsweise der Affekte bei den einzelnen Personen aus dem Gang der Atem- und Pulsveränderungen leicht erschließen läßt, weil die Kurven ziemlich rasch hintereinander aufgenommen wurden. Bei der Wahl der Versuchspersonen wurde darauf Rücksicht genommen, daß der Zweck der Versuche nicht erraten werden durfte, und daß die Versuchspersonen sich möglichst unbefangen von einem in den anderen Affekt versetzen ließen. Es waren untere Universitätsbeamte oder

solche, die zur Universität in Beziehung standen, und deren persönliche Verhältnisse dem Experimentator so bekannt waren, daß es ihm leicht gelang, die beabsichtigten Affekte hervorzurufen. Inwieweit dies gelungen war, wurde durch nachträgliche Unterhaltung und Befragen im einzelnen festgestellt und ist bei der Durchnahme erwähnt und für die Ergebnisse in Rechnung gezogen. Der Affekt der Lustigkeit wurde hauptsächlich durch Erzählen von Witzen erzielt, Freude und Hoffnung durch entsprechende angenehme Mitteilungen und persönliche Aussichten. Enttäuschung trat ein, sobald sich die Aussichten als unbegründet herausstellten; kurz vorher entstand gesteigerte Erwartung, wenn die Entscheidung darüber fallen sollte. Schreck, Aufregung und Mitleid wurden durch einen inszenierten Vorfall bewirkt, Ärger durch Schikanierung der Versuchspersonen und unangenehme Vorhaltungen. Die Besorgnis hatte Bezug auf die Stellung der Untersuchten, und Ekel sollte durch einen widerlichen Geruch hervorgerufen werden. Das Experiment wurde von allen Beteiligten gut aufgenommen, und wer untersucht war, half gern mit bei der Untersuchung seiner Bekannten. Die Registrierung wurde in der Weise vorgenommen, daß das Kymographion fast ständig rotierte und nur die Schreibhebel im gegebenen Moment angelegt zu werden brauchten, was geschehen konnte, ohne daß es von der Versuchsperson bemerkt wurde. Dann wurden je nach Bedarf während einer oder mehrerer Umdrehungen Atmung und Puls registriert und die Schreiber wieder entfernt, während die Trommel noch eine Zeitlang weiter rotierte.

Von dem Zusammenhang dieser Manipulationen mit den Affektreizen hatten die Versuchspersonen keine Ahnung. Überhaupt meinten die Versuchspersonen, es handle sich lediglich um normale Aufnahmen des Pulses.

Ausgerechnet wurden die Kurven in der gleichen Weise wie in der vorstehenden Arbeit. Es wurde also die durchschnittliche Atemlänge für die Strecke einer Trommelumdrehung (50 cm in 50 Sek.) oder eines kürzeren Abschnittes berechnet, die größte und kleinste darin vorkommende Atemhöhe gemessen und die sogenannte Atempause, d. h. derjenige Teil der Atmungskure festgestellt, der zwischen deutlicher Exspiration und neu einsetzender Inspiration liegt, ohne daß in diesem Intervall das Sinken oder Steigen der Atmungskurve gänzlich aufhörte. Bei Berechnung der Pulslänge wurde streng nach den Prinzipien der obigen Arbeit verfahren, indem auch bei den kürzeren Kurvenabschnitten nur Strecken zwischen gleichen Atmungsphasen in Betracht gezogen wurden. Nur um den Bruchteil einer Pulslänge wurde davon abgewichen, um mit ganzen Zahlen zu rechnen. Die Zahlen für Pulshöhe beziehen sich auf die größten und kleinsten regelmäßig vorkommenden Pulse der betreffenden Kurve. Ausnahmewerte wurden hier wie bei den übrigen Messungen besonders angegeben. Als Atemschwankung galt die Differenz zwischen der Dauer des längsten und des kürzesten Pulses innerhalb desselben Atemzuges. Wo größere Pulsschwankungen offenbar durch den raschen Wechsel affektiver Zustände hervorgerufen wurden, sind sie als Ausnahmewerte behandelt.

Die Ergebnisse der Messungen sind im Unterschiede von dem oben eingehaltenen Verfahren graphisch dargestellt in den Tafeln I—VI. Zur Beurteilung der Kurvenbilder ist es nötig, sich den Wert der gemessenen Größen klarzumachen. Es sei darum gestattet, die Gesichtspunkte der früheren Arbeit darüber kurz zusammenzufassen. Offenbar am zuverlässigsten sind die Zahlen über Atem- und Pulslänge, weil sie als Durchschnittswerte aus einer größeren, einfach gemessenen Strecke gefunden sind, während die übrigen Zahlen Einzelwerte dar-

stellen, für die der Maßstab z. T. ziemlich roh war. Freilich haben Durchschnittswerte auch wiederum den Nachteil, daß sie die Variationen innerhalb der berechneten Strecke nicht zur Geltung bringen. Diese Feinheiten sind also aus den Tabellen nicht zu erkennen, bei der Einzelbeschreibung aber nach Möglichkeit berücksichtigt. Die Atmungspause und -höhe ist von der Art der Schreibung sehr abhängig. Für die Atmungspause besteht außerdem eine gewisse Willkür in der Messung, so daß diese nur annähernd den Verhältnissen gerecht wird. Die Atmungshöhen in verschiedenen Versuchsreihen sind kaum miteinander vergleichbar; auch während derselben Sitzung kann sich die Einstellung der Hebellänge beträchtlich ändern und die Schreibung durch Entweichen von Luft durch die Membranen und Verschieben der Atmungskapsel gestört werden, so daß Schlüsse über die Atmungshöhe nur mit Vorsicht zu ziehen sind. Bei der Pulshöhe verursacht zuweilen die »plethysmographische Welle« einige Schwierigkeiten, da für die Höhenmessung die Fußpunkte der Pulse kurvenartig verbunden werden müssen und der Abstand der Pulsgipfel von dieser Kurve maßgebend ist. Bei hohem Puls oder hoher Welle gerät der Schreibhebel leicht ins Schleudern, so daß die Pulse dann unverhältnismäßig hoch erscheinen. So gut es ging, wurde bei der Beurteilung vom Schleudern abgesehen. Wohl am unsichersten sind die Feststellungen der Pulsschwankung wegen der ungünstigen Messungsverhältnisse. Hier handelt es sich meistens um sehr kleine Größen, die zudem noch auseinanderliegen und bei Vorhandensein einer phlethysmographischen Welle nur durch Projektion auf eine horizontale Abszisse gemessen werden können.

Rein äußerlich ist zum Verständnis der Tabellen folgendes zu beachten. Die Buchstaben A bis E am Rande der Tabellen beziehen sich auf die Versuchspersonen. Die Messungsergebnisse

sind als Ordinaten eingezeichnet, und zwar ist als Einheit für die Atmungsverhältnisse das Zentimeter, für die Angaben über den Puls Millimeter gewählt. Diese Einheiten bedeuten für die Atmungs- und Pulslänge zugleich die Zeiteinheiten der Sekunde bzw. der Zehntelsekunde wegen der Maße der Kymographiontrommel und der benutzten Rotationsgeschwindigkeit. Je höher also die Ordinaten in den Tabellen für Atmungs- und Pulslänge sind, desto langsamer hat die Atmung oder der Puls in dem betreffenden Falle funktioniert. Die Reihenfolge der aufgenommenen Kurven ist durch die Abszisse wiedergegeben; dabei sind die einzelnen aufeinander folgenden Affekte durch stärkere vertikale Linien getrennt. Nur Freude und Hoffnung, die bei den Versuchen allmählich ineinander übergingen, sowie Aufregung und Mitleid haben in den Tabellen keine Trennungslinien. Nicht alle Affekte wurden an jeder Versuchsperson beobachtet; aber die Reihenfolge war stets die gleiche. Im Interesse der Vergleichung sind deshalb die Messungen über die gleichen Affekte bei den verschiedenen Versuchspersonen untereinander gestellt und die entstehenden Lücken der fortlaufenden Kurven durch gestrichelte horizontale Linien überbrückt, die den Wert der letzten Messung auf den neuen Einsatz der Kurven übertragen, so daß die Differenzen gut erkennbar sind. Als Einheit für die Abszissenachsen gilt ungefähr die Zeit einer Trommelumdrehung (50 Sek.); doch ist zu bedenken, daß zwischen den einzelnen Kurvenblättern, besonders aber zwischen den einzelnen Affekten oft längere Zeit verstrich. Kleinere Abschnitte von Kurvenblättern sind auf den Tafeln durch entsprechende Bruchteile der Abszisseneinheit gekennzeichnet, von denen oft mehrere aneinandergereiht sind; nur beim Übergange zu neuen Affekten ist von dieser Gewohnheit abgewichen, indem dann ein neuer Abschnitt stets von der Anfangsvertikalen des neuen Affektes aus abgetragen wurde, wie

z. B. bei den Übergängen Norm, Schreck, Aufregung. Die Tabellen für Atmungshöhe und -pause, sowie für Pulshöhe und Pulsschwankung enthalten gemäß der Berechnung stets zwei Kurven, für das Minimum und Maximum der gemessenen Größen. Ein starkes Auseinandertreten der Kurven ist meistens auf eine Unregelmäßigkeit der betreffenden Vorgänge zu beziehen; doch kann sich darin auch eine allmähliche Tendenz der Zu- oder Abnahme ausdrücken, worüber die Einzelbeschreibung der Kurven Auskunft gibt. Stoßen die beiden Kurven zusammen, so ist dies entweder ein Zeichen großer Regelmäßigkeit oder rührt von der Kleinheit des berechneten Abschnittes her (z. B. wenn nur ein einziger Atemzug berechnet ist). Ausnahmewerte sind als Sternchen eingetragen; ein Kreuz bei der Atmungslänge bedeutet, daß sich die Angabe nur auf den eigentlichen Atmungsprozeß bezieht, mit Ausschluß der Pause, während diese gewöhnlich mit einbegriffen ist. Solche Fälle sind z. B. beim Schreck zu verzeichnen, wo die Atmung eine Zeitlang gänzlich angehalten wird. Wo die Eintragungen die übrigen Ordinatenwerte allzuweit überschreiten würden, ist nur die Richtung der Kurve angedeutet und die entsprechende Höhe dabei geschrieben.

Wie schon aus den Tabellen ersichtlich, hat bei der Versuchsperson A der Atmungsschreiber nicht gut funktioniert; doch sind die Höhenunterschiede für die einzelnen Affekte immerhin deutlich genug zu erkennen. Natürlich ist dabei die registrierte Atempause um so länger ausgefallen. Der Puls hat sich am besten bei B aufgezeichnet; doch auch bei den übrigen Personen weist er klare Höhenunterschiede auf. Die individuellen Unterschiede, die vom Alter und den sogenannten Temperamenten abhängen, treten deutlich hervor. A und D wird man als sanguinisch-cholerisch, B als sanguinisch, also allen Affekten ziemlich leicht zugänglich, bezeichnen. C

ist ein ruhiger Charakter und vertritt keinen ausgesprochenen Temporamentstypus; E ist von Natur sanguinisch, doch durch sein Alter schon etwas abgestumpft. A, B und D standen im Alter von 30 bis 40 Jahren, C war über 40 und E bereits 70 Jahre. Da die Versuche vormittags, bzw. für B und E mehrere Stunden nach dem Mittagessen stattfanden, sind die Normalpulslängen der Versuchspersonen ungefähr gleich dem Tagesdurchschnitt anzunehmen und daher untereinander vergleichbar. Danach hat C, die ruhigste Versuchsperson, einen etwas langsameren Puls, als seiner Altersnorm entspricht, und A besitzt einen besonderes raschen Puls. Die Reihenfolge der Versuchspersonen in bezug auf die Pulslänge vom langsameren zum rascheren Tempo ist folgende: C, B, D, A, E. Eine ähnliche Reihenfolge ergibt sich für die Atmungslänge, wobei nur A und B ihre Stellungen vertauschen: C, A, D, B, E. Diese Ordnung, die auch für die Atmungspausen gilt, entspricht im allgemeinen den Annahmen, die man sich über den Einfluß der Temperamente auf Puls und Atmung macht. Bei E ist zugleich sein Alter zu berücksichtigen. Die Höhenverhältnisse sind vielleicht von der Kräftigkeit der Personen abhängig. B ist bei weitem der Kräftigste, dann folgen A und C, sowie D, E. Für die Atmungshöhe besteht die Reihenfolge: B, C, D, A, E; für die Pulshöhe: B, A, D, E, C. Die größten Atemschwankungen des Pulses zeigen sich bei dem leicht erregbaren A, die geringsten bei E, während die übrigen sich darin ziemlich gleich verhalten. Im allgemeinen ist wohl zu bemerken, daß sich die Sanguiniker für die Untersuchung über den Einfluß der Affekte nicht so sehr eignen, wie es zunächst den Anschein hat. Sie lassen sich zwar leicht in Affekte versetzen: doch sind sie darin nicht sehr konstant, so daß die Behandlung der Kurven schwieriger ist als bei denen, die eine gewisse Trägheit der Stimmungen zeigen. Es

kommt hinzu, daß die Sanguiniker, wie es scheint, eine ziemlich rasche Atmung haben, die keine bedeutende Variation der Atemlänge zuläßt, wenigstens nicht für die Affekte, die mit einer intensiveren Lebensbetätigung verknüpft sind; und mit der Atemlänge hängen offenbar die übrigen Faktoren nicht selten zusammen.

Vor allem ist für die Auslegung der Tafeln das verschiedene Gelingen der Affekte in Betracht zu ziehen. Auf den ersten Anblick machen die Kurven den Eindruck einer völligen Regellosigkeit; und man muß untersuchen, ob nicht Ordnung in das Zickzack der Ergebnisse hineinkommt, wenn man die besonderen Bedingungen der einzelnen Aufnahmen erwägt. Die schwächsten Affekte wurden in E hervorgerufen; denn es wurde auf sein Alter Rücksicht genommen und auf den Umstand, daß er leicht erregbar ist. Die Atemlänge ist bei ihm während aller Affekte fast konstant geblieben, die Pulslänge zeigt etwas größere Schwankungen. Man darf also wohl schließen, daß er diesen Affektreizen nicht besonders zugänglich war, wie er auch selber nachträglich versicherte, vielleicht auch, daß sich sein Organismus wegen des hohen Alters weniger den Stimmungen anpaßt. Auch C war an diesem Tage nicht besonders brauchbar für die Versuche, da er sich, wie er später angab, während der Sitzung in einer etwas ängstlich besorgten Stimmung befand, auf der sich die Versuchsaffekte aufbauen mußten, und die doch hier und da sich wieder in den Vordergrund drängte. Auf die auch in der Norm verhältnismäßig große Länge des Pulses hat aber dieser Umstand kaum einen sichtbaren Einfluß gehabt. Lustigkeit war bei allen Versuchspersonen leicht zu erzielen; verhältnismäßig am wenigsten bei C, der nicht zu Ausgelassenheit neigt, sondern mehr gemütlich bleibt, meistens aber die Dinge ernst nimmt. Nur geringe Symptome dieses Affektes sind auch bei E zu bemerken, obgleich die Stimmung bei ihm leicht

zustande kam und sich lebhaft durch Lachen äußerte. Zur Erklärung der größeren Einförmigkeit dieser Kurven mag die in dem Alter der Versuchsperson begründete geringere Elastizität seines Organismus in Betracht zu ziehen sein. Besonders gut gelang die Lustigkeit bei B, der überhaupt zufrieden und meistens vergnügt ist. Freude und Hoffnung, die nur an A und B untersucht wurden, gerieten gut, ebenso wie die gespanntere Erwartung und die Enttäuschung. B setzte sich leichter über die getäuschte Hoffnung hinweg, während es A schwerer wurde. Schreck und die sich daran anschließende Aufregung gelangen ausgezeichnet, außer bei E, für den ein zu schwacher Reiz gewählt wurde. Mitleid zeigte sich nur bei B, und zwar sehr ausgeprägt, während A für diesen Affekt fast unzugänglich blieb. Dagegen entstand der Ärger besonders intensiv bei A und D, weniger stark bei B, C und E. Die Reize für diesen Affekt erfolgten meistens sukzessiv, so daß der Ärger allmählich anwuchs. In ähnlicher Weise wurde die Besorgnis gesteigert. Es handelte sich dabei um die eigene Person des Untersuchten, und die entsprechenden Reize verfingen durchweg sehr gut. Der Affekt des Ekels ist nahezu als gänzlich mißglückt zu bezeichnen. Es waren die Versuchspersonen mittlerweile über den Zweck der Versuche aufgeklärt worden. Unterdessen füllte sich das Zimmer ziemlich rasch mit üblem Geruch durch einen Schwefelwasserstoffapparat, ohne daß die Versuchspersonen von dieser Entwicklung etwas wußten. Ein eigentlicher Ekel kam bei ihnen nicht auf. C empfand den Geruch als höchst unangenehm. Die übrigen vermeinten Zwiebel zu riechen; B fand den Eindruck sogar etwas anziehend.

Während die beigegebenen Tafeln so eingerichtet sind, daß sich die Variationen, die jeder einzelne gemessene Faktor (Atmungslänge, -höhe usw.) in den Affekten durchmacht, für

die verschiedenen Versuchspersonen vergleichen lassen, soll in der folgenden Einzelbeschreibung der Kurven der Gesamtverlauf der Erscheinungen bei den Affektzuständen an den Personen verfolgt werden. Zugleich sollen auch diejenigen Erscheinungen, die durch die Ergebniskurven nicht zum Ausdruck kommen, im folgenden erwähnt werden, damit eine klare Anschauung über das gewonnene Material einigermaßen möglich ist. Leider ließen sich bei der Wiedergabe die Tafeln nicht auf ein Blatt bringen, so daß man bequemer den Zusammenhang der Veränderungen hätte überblicken können.

Die Zahlen, mit welchen die Kurven im Text bezeichnet sind, beziehen sich auf die Abszissenzahlen der Tafeln.

Versuchsperson A.

Von den Normalkurven (Kurve 1—3) ist die erste nicht im strengen Sinne eine Normalkurve zu nennen; weil der Versuchsperson das Experimentieren ungewohnt war. Die Atmung ist etwas zu lang und tief ausgefallen, und es finden sich größere Pausen; der Puls ist länger als normal, niedrig und zeigt nur geringe Atemschwankungen. Bei der zweiten Kurve hat sich die Versuchsperson schon besser in die Bedingungen hineingefunden. Die Atmung ist nur noch z. T. anormal hoch, während der Puls kürzer ist und größere Atemschwankungen aufweist. Augenscheinlich hat die Versuchsperson etwas Interesse an den Vorgängen genommen. Erst die dritte Kurve kann als eigentliche Normalkurve gelten. Die Kurven 4 und 5 bei Lustigkeit zeigen ein sehr wechselvolles Aussehen. Das entspricht dem Auf- und Abwogen der Intensität des Affektes, der nicht längere Zeit konstant bleiben kann; besonders aber hat es in den Ausbrüchen des Lachens und den kurzen eingeschobenen Bemerkungen der Versuchspersonen seinen Grund. Um die Natürlichkeit des Affektes nicht zu beeinträchtigen, mußten derartige Störungen mit in den Kauf genommen werden. Auf

den registrierten Kurven treten sie deutlich hervor und sind besonders zu berücksichtigen. Beim Lachen ist die Atmung höher und flackerig, und es folgen meistens längere Atempausen; der Puls ist besonders nach einem Heiterkeitsausbruch höher und kürzer, verlängert sich aber während einer größeren Pause und wird wieder kürzer, wenn es sich um Aufmerken oder Sprechen handelt. Im letzteren Falle ist der Puls niedrig und die Schreibung meistens etwas deformiert. Die enorme Schwankung der Pulslänge erklärt sich an diesen Kurven zum großen Teil aus dem raschen Wechsel der affektiven Zustände. Eine weniger ausgelassene Lustigkeit ist bei A durch raschere niedrige Atmung und beschleunigten höheren Puls charakterisiert. Die Freude (8, 9 und 10; besonders 10 ist gut geraten) zeigt als verwandter Affekt ähnliche Symptome, wie die Lustigkeit; jedoch sind diese, weil es sich um eine gleichmäßigere Stimmung handelt, nicht so sehr ausgeprägt. Ein Unterschied scheint darin zu bestehen, daß der Puls gegen die Norm vielleicht ein wenig verlängert ist. Außerdem sind ausgeprägte Pulsschwankungen (Atemschwankungen) vorhanden. Während der Hoffnung (11 und $11^{1}/_{2}$) ist die Atmung vor allem niedriger, auch etwas beschleunigt mit entsprechend kleineren Pausen, im ganzen ziemlich regelmäßig; der Puls nimmt noch weiter an Höhe zu, bei ungefähr normaler Länge und Schwankung. Die gesteigerte Erwartung ($12^{1}/_{3}$) wird durch einen hohen Atemzug eingeleitet. Es scheint, als ob die Versuchsperson sich auf alle Eventualitäten gefaßt macht. Dann entsteht eine lange Pause (6,5 Sek.), wobei die Pulse gegen Ende länger und flacher werden. Anfangs ist der Puls recht hoch und rasch. Infolge der langen Pause fällt die Pulsschwankung ziemlich groß aus. Die Enttäuschung ($13^{1}/_{5}$) ruft bei A ganz niedrige, kaum merkbare, langsame Atmung hervor, die Pulse sind niedriger, anfangs kurz, dann wachsend. Im weiteren

Verlaufe (14) zeigt sich der Puls etwas beschleunigt und wieder ziemlich kräftig; die Atmung ist noch niedrig, jedoch rascher, mit geringen Pausen; erst gegen Ende der Kurve stellt sich ein hoher Atemzug ein, und die Atmung wird ein wenig langsamer und mit ihr der Puls. Bei der nächsten Kurve (15) macht sich Galgenhumor geltend, wie aus den Bemerkungen der Versuchsperson hervorging. Dabei ist die Atmung, abgesehen von einem hohen Atemzug, äußerst flach und langsam, der Puls langsam und übernormal hoch mit großen Atemschwankungen. Nachher ist der Puls wieder bedeutend niedriger. Die Kurve 16 nähert sich schon wieder stark der Norm, wenn auch die Atmung noch ziemlich rasch und niedrig ist. Dabei ist die Pulsschwankung auffallend gering. Dann trat eine längere Unterbrechung der Versuche ein, in der die Versuchsperson von den Apparaten befreit war. Nach der Erholungspause war A, namentlich während der Kurve 17, in angenehmer Stimmung. Im Vergleich zu den ersten Normalkurven ist der Puls jetzt länger und bedeutend höher. Beim Schreck stockt zunächst der Atem, nachdem die Pause schon ungefähr ihren normalen Wert erreicht hat, noch 1,5 Sek., so daß die Atmungspause im ganzen 5 Sekunden beträgt, und der Puls geht hoch und für einen Augenblick langsam (2 Pulse); dann folgt ein tiefer aufgeregter Atemzug und scheinbar gleichzeitig eine Armbewegung (Rück- und Vorstoß), dabei sehr kurze niedrige Pulse mit nur geringer Schwankung; darauf tritt rasche, verhältnismäßig niedrige Atmung ein, die aber bald wieder anwächst, während die Pulse schon wieder ziemlich lang und etwas höher werden und eine recht große Atemschwankung zeigen. Das Affektbild scheint sich zum Teil deshalb zu verändern, weil der Affekt sich mit Spannung über das Vorgefallene kompliziert, die sich nach dem ersten Schrecken beim Besinnen einstellt. Nach einer kurzen Periode Sprechens,

wobei die Atmung rasch und hoch ist und der Puls nicht ganz normal lang und niedrig, zeigt die Registrierung bei der folgenden Aufregung zunächst noch dasselbe Bild. Periodische Unregelmäßigkeiten der Atmungshöhe finden sich namentlich in $19^3/_4$, wo auch die Pulsschwankung sich über mehrere Atemzüge erstreckt. In 20 ist die Atmung und der Puls bedeutend langsamer; auch treten sehr große regelmäßige Pulsschwankungen auf. Im folgenden, wo ziemlich vergebens an das Mitleid der Versuchsperson appelliert wurde (21—27), ist die Atmung durchweg sehr flach und etwas beschleunigt, der Puls kehrt in seiner Frequenz zur Norm zurück, und seine Höhe nimmt wieder beträchtlich zu; die Größe der Schwankungen verläuft ungefähr parallel mit der durchschnittlichen Pulslänge. Die Normalkurve $27^1/_3$ hebt sich kaum von diesen letzten Kurven ab. Deutlich markiert sich aber der Ärger in den darauf folgenden Kurven, besonders in 33 bis 35. Die Atmung bleibt flach, ist aber lebhafter, der Puls verlangsamt sich stetig und wächst zu bedeutender Höhe an. Demgegenüber wird der Puls bei der Besorgnis stellenweise außerordentlich kurz (bis zu 0,56 Sek.), und die Höhe scheint wieder abzunehmen. Die Atmung geht rasch und tief vor sich. In 37 ist der Affekt nicht ganz so intensiv, dabei zeigen sich enorme Pulsschwankungen. In 38 und 39 tritt Ärger hinzu, wodurch der Puls ausgesprochen lang wird. Die starke Erregung ist an der zackigen Atmung und dem kritzeligen Pulse kenntlich. Die nach der Aufklärung sich anschließende Normalkurve 42 trägt die Anzeichen des Aufatmens von den erlebten Unannehmlichkeiten. Die Atmung funktioniert rascher; jedoch ist der Puls etwas länger als zu Anfang der Versuche, auch etwas niedriger als in den Normalkurven nach der Pause. Während des übeln Geruches (43—47) verlaufen die Prozesse der Atmung und des Pulses ziemlich unregelmäßig. Während

der Kurve 44 wird die Atmung sehr spärlich; dabei stehen neben Perioden sehr kurzer Pulse solche von außerordentlicher Länge. Von 45 an wird die Atmung wieder etwas höher und die Pulse zum Teil bedeutend kürzer, während sie gegen Ende wiederum länger werden. Die Pulshöhe bleibt während der ganzen Zeit annähernd konstant, ziemlich niedrig.

Versuchsperson B.

B zeigt in den Anfangsnormalkurven ungefähr das entgegengesetzte Verhalten wie A. Bei ihm hat die erste Normalkurve raschere und höhere Atmung mit etwas kürzeren Pausen als die zweite Kurve; und der Puls ist bedeutend kürzer und etwas unregelmäßig in bezug auf seine Höhe, anfangs etwas niedriger, dann höher als bei der zweiten Aufnahme. Ob die Atmungshöhe wirklich abgenommen hat, oder ob sich bei den großen Ausschlägen die Hebellänge des Schreibers etwas verkürzt hat, ist nicht sicher auszumachen. Das letztere ist aber wahrscheinlich. Dann wäre die Pulsbeschleunigung und anfängliche Niedrigkeit desselben wohl ein Zeichen des Aufmerkens; denn die etwas größere Atmungsfrequenz kann kaum die starke Abweichung im Tempo der Pulsschläge erklären. Die Kurven über Lustigkeit (4—7) stimmen mit denen von A gut überein. Die Pulsverkürzung tritt bei B noch deutlicher hervor. Im einzelnen lassen die Kurven eine Reihe von Phasen erkennen, die in der graphischen Darstellung stark nivelliert sind. So wächst z. B. die anfangs beschleunigte Atmung in 4 gegen Ende der Kurve wieder zur normalen Länge an, sobald die Reize nachlassen. Besonders in der Mitte dieser Kurve ist die Atmung niedrig und infolge von Lachen und Sprechen etwas flackerig, ohne daß die Gleichmäßigkeit des Kurvenbildes erheblich gestört wäre. Der Puls ist dabei schon ziemlich verkürzt und zum Teil beträchtlich erhöht. Kurve 5, die unmittelbare Fortsetzung von 4, ist im ganzen normaler,

sie hat längere, höhere Atmung als 4 und längeren, wieder niedrigeren Puls, woraus erhellt, daß die Wirkung der Lustigkeit auf die Erscheinungen der Atmung und des Pulses sehr bald bedeutend nachläßt. 6 und 7 sind Bilder stärkerer Lustigkeit. Dem berechneten Teil der Kurve 6 geht eine kolossale Lache voran, die von gewaltigen Armbewegungen begleitet ist, wodurch der Pulsschreiber ins Schleudern kam. Die Atemzüge sind lang und sehr flackerig und sind durch lange, infolge des kräftigen Herzschlages stark gezackte Pausen getrennt. Soweit der Puls sich zählen läßt, ist er recht kurz. Dann folgt in 6 ein Aufmerken mit niedriger Atmung und kurzen Pulsen. Die Pulse verlängern sich jedoch diesmal während des Lachens, wohl weil die Spannung der Aufmerksamkeit aufhört. Bei einer späteren Lachsalve bleiben die Pulse kurz, bis zum Eintritt der als Reaktion sich einstellenden langen Pause. Nachher ist die Atmung rasch und hoch. Die Kurve 7, im Anschluß an einen neuen intensiven Heiterkeitsausbruch, ist bedeutend ebenmäßiger. Die Atmung verläuft rascher und ist niedriger als in 6, der Puls noch immer frequenter und höher als normal. Während der *Freude* (8,9) ist die Atmung ungefähr normal, auch die Pulslänge zeigt kaum eine Abweichung, doch ist die Pulshöhe noch fast dieselbe wie durchschnittlich bei der Lustigkeit, und die Schwankungen sind etwas größer als gewöhnlich. Noch kräftiger wird der Puls bei der *Hoffnung* (10 und 11); das Tempo der Atmung ist nicht ganz regelmäßig, in 10 anfangs länger, dann rascher. Dieselbe Erscheinung ist bei der gesteigerten *Erwartung* ($12^{4}{}_{,5}$, 13) zu bemerken, wo ebenfalls eine Beschleunigung der Atmung eintritt. Eine bedeutende Verkürzung derselben ist bei B nicht möglich, da die Versuchsperson schon für gewöhnlich rasch atmet. Zugleich sind die Höhen von Atmung und Puls etwas geringer geworden. Die *Enttäuschung*

(14) bleibt bei B fast ohne Einfluß; er tröstete sich leicht, wie er selber sagte. Daher handelt es sich mehr um eine Rückkehr zur Norm, wenn auch die Atmung noch einigermaßen rasch geht und sich hier und da unregelmäßige Pausen zeigen. In der folgenden Normalkurve ($17^1/_2$) ist die Atmung etwas niedriger als zu Beginn der Sitzung und der Puls kaum merklich länger, beides Erscheinungen, die durchaus natürlich sind, da sich im Verlaufe der Sitzung bei allen Versuchspersonen eine Relaxation einstellte. Der Schreck ($18^1/_6$) ist durch eine beträchtliche Pausenverlängerung gekennzeichnet. Der Reiz erfolgte gerade, als normalerweise die Atmung wieder einsetzen sollte. Eine starke plethysmographische Welle entstand durch Anziehen und vielleicht darauf folgenden Vorstoß des Armes. Die Pulshöhe ist dadurch unsicher geworden; sie erscheint für einen Moment sehr niedrig, dann aber recht hoch. Bald nach dem Chok ist der Puls niedriger und von vornherein bedeutend kürzer. Dann tritt beschleunigte Atmung ein, die noch während der Kurve 20 zu übernormaler Höhe ansteigt. Durch die Aufregung ist der Puls sehr stark verkürzt, seine Schwankungen sind verhältnismäßig groß, auch ist seine Höhe starken Veränderungen unterworfen, vielleicht hauptsächlich infolge der fortdauernden plethysmographischen Welle. Erst in der zweiten Hälfte von 21 (auf demselben Kurvenblatt) beginnt die Beruhigung, indem der Puls weniger kurz wird und das Atmungstempo durch etwas längere Pausen beeinflußt wird. Die Atmung wird niedriger als normal, während der Puls wohl noch etwas an Höhe gewinnt. Das Mitleid ($21^2/_3$) bewirkt eine Verlängerung der Atmung und erniedrigt den Puls, dessen Länge noch weiter zunimmt. Der Affekt scheint intermittierend zu sein. Jedenfalls zeigt die Atmung, besonders was die Höhe anlangt, innerhalb der folgenden Kurven einen ziemlich raschen periodischen Wechsel. Im ganzen schreitet die Rückkehr zu

den normalen Verhältnissen fort. Nach der wieder etwas normaleren Kurve ($27^2/_3$) scheint die asthenische Tendenz der Pulsverlangsamung sogar etwas darüber hinauszugehen. Durch leichten Ärger (29 und $29^1/_3$) schlägt die Tendenz wieder um. Der Ärger äußert sich bei B in der entgegengesetzten Weise wie bei A durch Atmungs- und Pulsbeschleunigung in $29^1/_3$, während in 29 anfangs die Atmung unterdrückt erscheint, also große Pausen aufweist, und die Exspiration langsam erfolgt, überhaupt die Atmung niedrig ist. Eine Pulserhöhung wie bei A läßt sich nicht konstatieren, eher eine geringe Schwächung. Die Pulslänge verläuft übrigens bei B von diesen letzten Kurven an bis zum Schluß der Sitzung in völliger Analogie zur Atmungslänge. Die Besorgnis (36, 37) zeichnet sich durch besonders niedrige Atmung aus, die nur für kurze Zeit eine mäßige Höhe erreicht, um darauf um so niedriger zu werden; im Atmungstempo ist keine markante Beschleunigung zu verzeichnen. In der Normalkurve (42) wächst die Atmungshöhe wieder an, und der Puls hat seine anfängliche Frequenz wieder erreicht, obwohl die Atmung noch etwas beschleunigt ist. Die Pulshöhe ist ebenso wie bei A in diesem Falle recht flach. Während des übeln Geruches (43—46) wird die Atmung zunächst sehr flach, nimmt dann zu und erreicht ihr Maximum in Kurve 45; darauf sinkt sie wieder mit einigen Oszillationen. Das Tempo der Atmung und des Pulsschlages erfährt eine ähnliche Variation, wenn auch in geringerem Maße. Die Pulshöhe nimmt anfangs etwas zu und sinkt dann bis zum Schluß. Es scheint also doch durch längere Einwirkung eine Depression der Lebensfunktionen bei B zu resultieren, wenngleich er den Geruch anfänglich sogar etwas anziehend fand.

Versuchsperson C.

Die 1. Kurve macht nicht den Eindruck einer Normalkurve, da die Atmungshöhe nicht regelmäßig ist und sich

z. T. längere Pausen einschieben. Vielleicht ist die Aufmerksamkeit zeitweise ein wenig gefesselt, wofür u. a. der ziemlich kurze Puls spricht. In der 2. Kurve ist die Atmung etwas ruhiger, weniger tief und nicht so rasch. Die Lustigkeit (Kurve $3^1/_3$—7) war nicht sehr intensiv, doch sind deutliche Alterationen der Ausdruckserscheinungen vorhanden, die im wesentlichen dieselben sind wie bei den übrigen Versuchspersonen. Charakteristisch sind für C die außerordentlich langen Pausen, die sich sehr leicht, meistens als Zeichen von Aufmerksamkeit, bei ihm einstellen. So tritt nach einem ausgiebigen Atemzug, der durch Heiterkeit hervorgerufen ist, in $3^1/_3$ eine Pause von 21,6 Sek. ein, wo keine Atmung, sondern lediglich Herzstöße verzeichnet sind. Dabei ist der Puls, besonders zu Anfang, etwas höher. Am Ende dieser abnormen Erscheinung gibt es zwei starke plethysmographische Bewegungen, und der Puls wird kurz, während er anfangs infolge Ausbleibens der Inspiration länger war. Nach dieser subjektiv nicht erheblichen Anspannung der Aufmerksamkeit folgt in 4 und markanter in Kurve 5 als Zeichen von Lustigkeit eine etwas beschleunigte, niedrige Atmung und stärkerer Puls in schnellerem Tempo. Die Pulsschwankungen scheinen etwas geringer zu sein. Am Ende von 5 ist eine kurze Strecke als Sprechen gekennzeichnet durch einen kleineren Atemzug und besonders kurze Pulse. In 6 bemerkt man ein Abflauen des Affektes; in 7 sind zwei Perioden des Zuhörens enthalten, in denen kurze, knappe Atmung und lange Pausen herrschen. Nachher zeigt sich die Atmung jedesmal beschleunigt. Ebenfalls durch eine lange Pause (15,5 Sek.) ist der Ärger eingeleitet. Diesmal finden sich die längsten Pulse in der Pausenmitte; gegen Ende büßt der Puls an Höhe und Dauer ein. Dann aber folgen breite hohe Atemzüge (Kurve $28^2/_3$) und lange Pulse, die freilich nicht besonders hoch sind, wie nach dem Affekt

zu erwarten wäre. Vielleicht kann in der Länge ein Äquivalent für das Ausbleiben der Pulserhöhung gefunden werden. Im folgenden erscheint wieder eine lange Pause, weil ein Atemzug innerhalb derselben unterdrückt ist. Bei einem stärkeren Grade des Ärgers (30—32) tritt die Pulserhöhung deutlicher hervor. Die Atmung ist, abgesehen von der zweiten Hälfte der Kurve 30, niedriger und durchweg etwas rascher als normal. Die Besorgnis (36—41) war eine sich allmählich steigernde. Die Registrierung unterscheidet sich anfangs fast nur durch den rascheren, anscheinend etwas höheren Puls von den vorhergehenden Kurven. Im weiteren Verlaufe machen Atmungs- und Pulslänge genau die gleichen Schwankungen durch. Wesentlich für diesen Affekt ist eine starke Pulsverkürzung und raschere niedrige Atmung; aber beide Prozesse, sowohl die Atmung wie der Pulsschlag, werden namentlich von 39 ab recht unregelmäßig. Unmittelbar neben einem Puls von 1,05 Sek. Länge steht ein solcher von 0,55 Sek., und auf einen Puls von 1,1 Sek. folgt unvermittelt einer von 0,6, ohne daß sich in diesen Fällen eine klare Beziehung zu den Phasen der Atmung finden ließe. Dennoch macht dies den Eindruck einer regulären Atemschwankung, weil der Wechsel mit der Zahl der Atemzüge Schritt hält. Jedoch tritt die Verkürzung plötzlich und manchmal verspätet ein. Während der Puls in den ersten Kurven kräftiger war, ist er in 39 und 40 recht flach. Die Atmungshöhe ist in 38 eine periodisch sinkende, in 39 gleichmäßig niedrig zwischen langen Pausen, in 40 recht unregelmäßig, im ganzen bedeutend höher. Die letztere Kurve ist zweimal durch kurzes Sprechen beeinflußt. Kurve 41, in der wiederum periodisch fallende, ziemlich niedrige Atmung Platz greift und der Puls energischer wird, stellt eine Komplikation des Affektes mit Ärger dar. Das Verhalten beim Geruch (43—39) zeigt in seinem Wechsel große Ähnlichkeit mit demjenigen

von A. Atmungs- und Pulshöhe verlaufen bei C völlig parallel miteinander und auch die Länge der Atmung fast analog, indem alle drei Größen an den gleichen Stellen (45 und 48) Maxima aufweisen. Die Pulslänge hat nicht ganz denselben Gang, sondern an Stelle des ersten Maximums bemerkt man ein unbedeutendes Minimum, wo der Puls weniger langsam geht, als in der übrigen Zeit der unangenehmen Stimmung. Namentlich gegen Ende der Versuchsreihe ist die Pulslänge stark unregelmäßig, es sind abnorm kurze Pulse eingesprengt. Die Atmungspause ist schon in 46 und 47 schwankend. Im ganzen tragen die Kurven durch die niedrige, knappe Atmung und den äußerst flachen, langsamen Puls, der nur zum Schluß wieder ein klein wenig höher wird, das Gepräge eines Depressionszustandes.

Versuchsperson D.

Die erste Normalkurve hat etwas längere, tiefere Atmung und einen längeren, niedrigeren Puls als die zweite. Die geringere Höhe ist vielleicht durch festeres Anliegen des Pulsschreibers bei der ersten Registrierung mit bedingt. Die Aufnahmen über Lustigkeit scheinen in einem Punkte von dem Verhalten der übrigen Versuchspersonen ein wenig abzuweichen. Der Puls neigt zeitweise zur Verlängerung. Doch tritt diese Erscheinung nur bei der Nachwirkung der lebhaften Lustigkeit ein, also in einem Stadium, das schon mit dem ruhigeren Affekt der Freude vergleichbar ist. Interessant daran ist, daß die Wirkungen der intensiven Lustigkeit so rasch verschwinden. Die Kurve ($3^1/_4$) beginnt mit einem herzhaften Lachen, das durch zwei kurze heftige Atemstöße, eine flatterige kleine Pause und einen hohen, lebhaft gezackten Atemzug wiedergegeben ist. Dabei ist der Puls verkürzt und niedrig. Es zeichnet sich auch, wie es scheint, eine Armbewegung als starke plethysmographische Welle auf. Dann folgt eine große Pause von 9 Sek., innerhalb der ein Ansatz zu einer unter-

drückten Atmung vorhanden ist. Schon während dieser Pause verlängert sich der Puls und nimmt noch weiter an Dauer zu, als drei rasche Atemzüge in ziemlich großen Abständen einander folgen. Dann wird die Aufmerksamkeit der Versuchsperson aufs neue durch einen Witz in Anspruch genommen. Zwei niedrige Atemzüge und Pulsverkürzung sind die Anzeichen dafür. Darauf erfolgt Lachen und Sprechen mit weiterer Pulsverkürzung, so daß die Schwankungen abnehmen. Weniger unregelmäßig sind die Kurven 5 und 6, die beide im Anschluß an ausgesprochene Lustigkeit hergestellt sind und eine gleichmäßigere Stimmung charakterisieren. Die Atmungshöhe ist etwas wechselnd, z. T. niedriger als normal, das Tempo in 6 etwas langsamer. Der Puls nimmt an Länge zu, abgesehen von einer Stelle gegen Schluß der Kurve 5, wo durch Sprechen eine vorübergehende Verkürzung hervorgerufen ist. In 6 hat er mindestens die normale Länge erreicht, vielleicht sogar überschritten. Die Pulsschwankungen sind gut ausgeprägt, mindestens von normaler Größe. Vor allem ist der Puls erhöht, in 5 wenig, in 6 aber sehr beträchtlich. Die Pulserhöhung dauert noch während der nächsten Kurven an, ja wird durch den Ärger (29) noch gesteigert; in Kurve 30, einer Nachwirkung dieses Affektes, ist der Puls ebenfalls noch reichlich hoch, wenn auch schon bedeutend weniger. Die Atmung ist beim Ärger zunächst verzögert, dann lebhafter und nicht sehr hoch, bei der Nachwirkung besonders flach. Der Puls zeigt trotz der etwas rascheren Atmung die für den Ärger charakteristische Verlängerung. Ganz flach ist der Puls wieder während der Besorgnis (36—38); dabei ist er anfangs sehr lang, dann aber relativ kürzer, wo der Affekt stärker einsetzt (38). Zunächst wollte die Besorgnis nicht recht aufkommen; es war mehr ein Unbehagen, eine Depression das Ausschlaggebende in der Stimmung der Versuchsperson. Die Puls-

schwankungen sind nicht immer regelmäßig und besonders in der letzten Kurve gering. Die Atmung ist in 36 und 37 niedrig, periodisch sinkend wie bei C; in 38 verläuft der Atmungsprozeß gleichmäßig rasch und niedrig mit verhältnismäßig großen Pausen, so daß das Atmungsquantum reduziert ist. Auch bei der nun folgenden *Normalkurve* ($41^{1}/_{2}$) nach der Informierung über den Zweck der Versuche macht sich die Abspannung der Versuchsperson geltend. Die Atmung ist verhältnismäßig niedrig, ebenso wie der Puls, und letzterer ganz besonders langsam. Der *Geruchsreiz* führt zunächst ($42^{1}/_{3}$) eine lebhaftere Tätigkeit der Atmungs- und Pulsprozesse herbei, vielleicht durch Inanspruchnahme des Bewußtseins. Die Atmung wird rascher und höher und der Puls weniger träge. Bei längerer Einwirkung des übeln Geruches und Steigerung seiner Intensität nimmt jedoch die Atmungshöhe wieder stark ab, und der Puls wird außerordentlich langsam (1,02 Sek.). Pulschwankungen sind kaum zu bemerken. Dieser Zustand dauert nicht lange an. Schon während der Kurve 44 wird der Pulz kürzer; besonders aber in 45 tritt eine zunehmende Pulsbeschleunigung bei unregelmäßiger, recht spärlicher Atmung ein, und es zeigt sich am Ende eine starke Unruhe durch Armbewegungen. Die Pulshöhe wächst dabei, und die Schwankungen sind nicht regelmäßig.

Versuchsperson E.

Die *Normalkurven* (1 und 2) unterscheiden sich dadurch voneinander, daß in der zweiten Kurve der Puls höher ist und die Schwankungen deutlicher ausgeprägt sind. Im übrigen bestehen kaum Differenzen, wenn man nicht eine minimale Verlangsamung der Atmung und des Pulses in der zweiten Kurve noch als solche ansehen will. Ein geringer Grad von *Lustigkeit* (4) bewirkt etwas beschleunigte, vielleicht auch ein wenig niedrigere Atmung, während der Puls eher eine

Verlangsamung aufweist und etwas flacher erscheint. In 5 kehren Stimmung und Ausdruckserscheinungen, abgesehen von der Atmungs- und Pulshöhe, mehr zur Norm zurück. Dagegen äußert sich die Lustigkeit z. T. recht stark durch Lachen in der Kurve 6, weniger in 7. Auf die Pulslänge hat die unmittelbare Heiterkeit kaum einen Einfluß. Hier und da ist der Puls erhöht, an anderen Stellen wieder ziemlich flach. Aber in 7 zeigt sich doch trotz rascherer Atmung als Nachwirkung der Heiterkeitsausbrüche eine merkliche Pulsverlangsamung und z. T. eine auffallende Unregelmäßigkeit in der Pulshöhe. Die Kurve 18 kann als Normalkurve gelten, obgleich sie von einer Beimischung Unannehmlichkeit nicht ganz frei ist. Die Atmung ist nur um weniges langsamer und der Puls etwas geschwinder als in der vorhergehenden Kurve 7. Die Atmungshöhe steigt namentlich im letzten Teile zur normalen Größe an. Auch der Schreck (19) bringt keine großen Veränderungen hervor, da er subjektiv kaum vorhanden war. Es handelte sich bei dieser Kurve nur um das Fallenlassen eines Gegenstandes. Der Moment ist einzig an einem niedrigeren Atemzuge kenntlich. Besondere Folgen sind nicht zu verzeichnen. Die Pulshöhe war schon vorher ziemlich groß. Ob man die nächsten Aufnahmen (29—31) als Kurven für Ärger ansehen darf, ist fraglich. Zum mindesten in 29 handelt es sich mehr um eine gewisse Unruhe, die auch wiederholt durch Sprechen zum Ausdruck kam, und 31 hat es mit der Nachwirkung zu tun, so daß hauptsächlich 30 in Betracht kommt. Infolge des Sprechens ist die Atmungshöhe in 29 unregelmäßig und der Puls dann meistens etwas flacher und verkürzt. Im ganzen geht der Puls in dieser Kurve geschwinder und ist z. T. höher als normal. In 30 ist die Atmung nach einer seufzerartigen Vertiefung äußerst flach und nur für kurze Zeit ziemlich hoch. Die Pulsfrequenz hat gegenüber 29 abgenom-

men; 31 hat raschere, mäßig hohe Atmung und einen noch langsameren Puls. Während der Besorgnis (35½) wächst die Atmungshöhe bedeutend an, das Tempo ist ziemlich rasch, die Exspiration steil. Der Puls ist wieder geschwinder und zeigt bedeutende Unregelmäßigkeiten in der Höhe. An der Normalkurve 41½ ist die Langsamkeit des Pulses erwähneswert. Durch den Geruch erleidet der Puls kaum eine Veränderung, nur daß seine Höhe zeitweise vielleicht etwas zunimmt. Die Atmung ist anfangs sehr niedrig, steigt dann bedeutend an und geht nachher zur normalen Höhe zurück. Das Tempo ist recht regelmäßig.

Ich versuche die Ergebnisse aller Versuche zusammenzufassen.

1) Normalkurven. Aus dem vorliegenden Material ergibt sich in Übereinstimmung mit der Untersuchung von Martius (a. a. O. S. 478 f.) in bezug auf die Normalkurven, daß dieser Begriff relativ ist. Es zeigen sich zunächst individuelle Verschiedenheiten, die nicht nur vom Alter, sondern auch von den Temperamenten der Versuchpersonen bis zu einem gewissen Grade abhängig zu sein scheinen. Außerdem aber sind die Werte der Normalkurven auch für dieselbe Person in einem fortwährenden Wechsel begriffen. Die in die Affektkurven eingeschobenen Normalkurven können in verschiedener Weise durch die voraufgehenden Kurven beeinflußt sein. Entweder dauern die Symptome des Affektes in ihnen noch an, wenn auch weniger intensiv; oder es tritt eine Reaktion gegen den Affekt ein, die vielleicht nur durch die vorherige Anspannung oder Hemmung der Funktionen hervorgerufen ist. In beiden Fällen ist es keineswegs ausgemacht, daß dabei stets aus den Symptomen auf einen entsprechenden affektiven Zustand im Bewußtsein zu schließen wäre. Oft wird es

richtig sein. Es kann sich aber auch um physiologisch bedingte Vorgänge handeln, deren Bewußtseinsseite für den einzelnen Fall noch zu untersuchen wäre. Die Inkonstanz der Normalkurven erklärt sich also wohl daraus, daß es schwer ist, einen stimmungsfreien Zustand für die Aufnahme einer Kurve herzustellen, und daß es völlig unmöglich ist, die physiologischen Zusammenhänge mit dem Vorhergehenden aufzuheben. So zeigen schon die Anfangsnormalkurven ein verschiedenes Bild, und ihr Gang ist bei den verschiedenen Versuchspersonen nicht einheitlich. Teils herrscht zu Anfang eine gewisse Befangenheit wegen des Ungewohnten der Versuche und wegen des Gezwungenen, das dem Versuchszustande anhaftet. Teils verraten die Kurven ein gewisses Interesse, eine Anteilnahme der Versuchspersonen an den Vorgängen, die sich nicht gut ausschalten läßt. Zum Teil fassen auch die Versuchspersonen anfänglich ihre Aufgabe nicht richtig auf, wenn sie meinen, »ruhig« atmen hieße »besonders langsam und tief« atmen. Dieses Mißverständnis scheint bei D vorgelegen zu haben. Allmählich aber gewöhnen sich die Versuchspersonen an ihre Lage, und es spielen dann diese Momente keine Rolle mehr. Sicherlich wurden die Affektkurven dadurch nicht mehr beeinflußt, weil die Affekte natürlich waren. Eine einheitliche Tendenz in der Änderung der Normalkurven tritt jedoch bei allen Versuchspersonen im Verlaufe der Sitzung deutlich hervor, wie namentlich durch einen Vergleich der letzten Normalkurven mit denen am Anfang erhellt. Mehr und mehr scheint sich ein Zustand der Abspannung schon in den Normalkurven auszusprechen. Denn der Puls ist bei allen Versuchspersonen am Schluß niedriger als zu Anfang (bei A ist mit den ersten Normalkurven nach der Pause zu vergleichen) und zugleich langsamer, außer bei B, dessen Puls nur niedriger geworden ist. Die Verlangsamung beträgt bei A 11, bzw. nach der Pause

7 Hundertstel Sekunden, bei C 2, D 17 (11), E 7. Die Verlangsamung ist bei D am größten, bei dem auch das Atmungstempo langsamer geworden ist. Bei den übrigen besteht diese Verminderung der Herztätigkeit trotz beschleunigter Atmung, die in der Regel mit einer größeren Pulsfrequenz verknüpft ist. Daß auch die Atmungshöhe abgenommen hat, außer bei E, wo sie nur unbedeutend höher ist, kann nicht auffallen, da Beschleunigung und Verflachung bei der Atmung naturgemäß korrelate Prozesse sind. Beim Pulse liegen die Verhältnisse ähnlich. Daher ist das Zusammentreffen der Pulsverlangsamung und Verflachung als ein deutliches Zeichen der Erschlaffung anzusehen, zumal wo das Atmungstempo eine Beschleunigung erfahren hat und demnach einen rascheren Puls verlangen würde. Diese Tendenz der Relaxation ist natürlich auch für die Beurteilung der Affektkurven in Anrechnung zu bringen. Es macht dies keine Schwierigkeit, da es sich in dieser Untersuchung nicht um absolute quantitative Feststellungen handeln kann, sondern mehr oder weniger um relative, wie sie sich unmittelbar aus dem Gange der Untersuchung ergeben.

2) Affektkurven. Die bei natürlichen Affekten erzielten Kurven gewähren einen besseren Einblick in die Kompliziertheit der Affekte, als ihn reproduzierte Stimmungen zu bieten vermögen. Denn bei letzteren ist das Bestreben der Versuchspersonen auf möglichste Gleichförmigkeit ihres seelischen affektiven Zustandes gerichtet, während es im Wesen mancher Affekte liegt, intermittierend sich geltend zu machen oder einen raschen Wechsel der Ausdrucksformen zu zeigen. Eine nachträgliche objektive Kontrolle über die Echtheit der reproduzierten Affekte ist so lange ausgeschlossen, wie man keine Kenntnis von den wahren Affektbildern besitzt oder nicht mit Sicherheit ihre konstituierenden Elemente festgestellt hat.

Am klarsten erscheinen die Affektäußerungen in bezug auf die Atmung, ohne daß sich dafür unumstößliche Regeln aufstellen ließen. Berücksichtigt man alle oben mitgeteilten Umstände für die Beurteilung der einzelnen Kurven, so gelangt man zu folgenden Ergebnissen. Für die Lustigkeit ist es natürlich, rascher und niedriger zu atmen. Doch wird die Atmung um so unregelmäßiger, je größer die Heiterkeit ist. Das liegt z. T. an den Erscheinungen des Lachens, das durch tiefe, flackerige Atemzüge wiedergegeben ist, worauf meistens, gewissermaßen als Ausgleich, längere Pausen folgen. Die Atmung wird bei diesem Affekt zeitweise auch durch Aufmerksamkeit mehr oder weniger in Anspruch genommen. Dann wird meistens die Atmung verhalten. Es entstehen entweder längere Pausen, oder wenigstens wird die Atmung niedriger. Auch durch Sprechen erleidet dieses Affektbild leicht Veränderungen. Oft sind es ziemlich kurze Bemerkungen, die sich durch einen raschen, niedrigen Atemzug und einige Niveauschwankungen während der Pause aufgezeichnet haben. Manchmal jedoch ist die Exspiration verlangsamt und zeigt Stufen, oder die Atmung ist durch den Sprechvorgang gänzlich gezackt. Der gleichmäßigere Affekt der Freude bietet weniger Veranlassung zu spontanen Äußerungen. Die Atmung ist regelmäßiger und scheinbar im selben Sinne beeinflußt wie durch die Lustigkeit, jedoch in geringerem Grade. Es scheint hier eine mäßige Beschleunigung und etwas flachere Atmung, als gewöhnlich, vorzuliegen. Bei B ist das Tempo ziemlich normal, und es ließe sich auch ein Zustand der Freude denken, der eine tiefere, langsamere Atmung aufwiese. In Verbindung mit der voraufgegangenen Lustigkeit, wie in diesen Versuchen, wird freilich wohl meistens der hier konstatierte Typus der Freude vorherrschen. Die Hoffnung zeigt wiederum etwas raschere Atmung, zugleich aber einige Unregelmäßig-

keiten (besonders bei B). Die gesteigerte Erwartung kann sich verschieden äußern. Bei B ist die Atmung anfangs langsamer und wird dann stark beschleunigt; A hält den Atem gänzlich an, nachdem er sich vorher durch einen hohen Atemzug darauf vorbereitet hat. Die Enttäuschung bringt bei ihm sehr niedrige, anfangs langsame, dann raschere Atmung hervor; bei B ist kaum ein Unterschied zu merken, da er sich leichter über die Sache hinwegsetzt. Auch der Schreck setzt ein mit einem Stocken des Atems, das jedoch in diesem Falle rein reflektorisch erfolgt, während es bei der Erwartung doch wohl z. T. durch gewollte Anspannung hervorgerufen wird. (Bei E war der Reiz wirkungslos.) Bei A folgt danach ein flackriger langsamer Atemzug, während sich bei B als Symptom der Aufregung sofort raschere, niedrige Atmung einstellt, die erst allmählich höher und langsamer wird und zunächst bedeutende Unregelmäßigkeiten aufweist. Intermittenzen scheinen charakteristisch für das Mitleid zu sein, das sich im übrigen durch niedrige, langsame Atmung äußert. Besonders die Höhe ist periodisch unregelmäßig. Eine deutliche Tendenz zur Verlangsamung der Atmung zeigt sich beim Ärger (vgl. A 32—35). Bei B wird namentlich die Exspiration langsamer, auch bei C sind die Atmungsgipfel breiter. Meistens tritt beim Ärger auch Verflachung der Atmung ein, die sich noch in der Nachwirkung zeigt. Vielleicht handelt es sich anfangs um eine durch den Affekt ausgelöste Hemmung und nachher teilweise auch um Relaxation. Es sind jedoch wahrscheinlich zwei Äußerungsformen dieses Affektes auseinanderzuhalten, die auf verschiedene psychische Zustände zurückgehen. Ein akuter Ärger kann auch durch raschere unregelmäßige Atmung zum Ausdruck kommen. Es wird dies namentlich bei leichtem Aufbrausen der Fall sein, wenn die Erregung in den Vordergrund tritt, während der zurückhaltende Ärger, bei dem die

Passivität überwiegt, eher durch Hemmung der Atmung sich kundgibt und länger dauernde Folgen hinterläßt. Beim Ärger ist ferner ein Faktor zu berücksichtigen, der auch bei den übrigen Affektzuständen vorhanden ist, aber weniger bestimmend, die Beschäftigung mit dem Gegenstande des Affektes, also die darin liegende intensive geistige Tätigkeit. Leichte Besorgnis ist mit rascherer, niedriger Atmung verbunden. Bei einem stärkeren Grade des Affektes ist die Atmung unregelmäßig in bezug auf Höhe und Geschwindigkeit. Es kann auch Verlangsamung eintreten durch längere Pausen (C und anfangs D), solange der Affekt mehr intellektuell ist oder eine lähmende Wirkung ausübt. Der gewöhnliche Typus ist jedoch der einer angeregten Atmungstätigkeit. A atmet dabei tiefer. Verlangsamung wird auch durch hinzutretenden Ärger oder Unzufriedenheit veranlaßt (A). Unangenehmer Geruch bewirkt, wie es natürlich ist, langsamere, flachere Atmung in unregelmäßigen Intervallen. Zeitweise ist die Atmung in diesem Versuche höher und etwas beschleunigt, weil das Interesse an dem Geruchsreiz erregt war und die Aufnahme solcher Reize durch die Atmung geschieht. Vielleicht ist die Inkonstanz der Atmungsverhältnisse und die überwiegende Depression teilweise auf die Natur des verwendeten Gases zurückzuführen.

Die hauptsächlichsten Veränderungen der Atmung in Affektzuständen bestehen also darin, daß das Tempo beschleunigt oder verlangsamt wird. In beiden Fällen nimmt meistens die Höhe ab. Denn wird die Atmung beschleunigt, so ist es das Natürliche, die raschen Atmungsbewegungen auch mit kleinerer Amplitude auszuführen; sonst würde die Arbeit bedeutend größer werden und das Atmungsquantum, d. h. die den Lungen in der Zeiteinheit zugeführte Luftmenge, anormal gesteigert werden, ein Fall, der scheinbar sehr selten vorkommt. Wird die Atmung langsamer, so sinkt ebenfalls in der Regel

die Atmungshöhe, weil es sich dann meistens um einen Hemmungsprozeß handelt, durch den das Atmungsquantum reduziert wird. Es kommen aber in seltenen Fällen auch die Typen Verlangsamung, bzw. Beschleunigung, in Verbindung mit tieferer Atmung vor. Verlangsamung mit Erhöhung der Atmung ist kaum für längere Zeit zu konstatieren, da schon der Zustand der Ruhe, der als Norm zugrunde gelegt wird, diesem Typus nahe kommt. Höchstens wäre die gewaltige Modifikation der Atmung beim Lachen hierher zu rechnen oder die z. T. willkürliche Beeinflussung der Atmung beim Sprechen langer Sätze und teilweise das Verhalten beim Riechen. Eine Beschleunigung mit Vertiefung kommt wohl am ersten in Zuständen starker Erregung vor, wie z. B. bei heftiger Besorgnis (Angst). Auch beim Geruch ist dieser Typus möglich. Außerdem kommt für die Atmungsveränderung bei Affekten wohl noch das Moment der Unregelmäßigkeit in Betracht. Am regelmäßigsten verläuft die Atmung im Ruhezustande der Norm; bei Affekten ist stets eine gewisse Unregelmäßigkeit dieses Prozesses in bezug auf Tempo und Höhe zu verzeichnen. Zum Teil liegt darin ein Symptom für die Ungleichheit im Verlaufe der Affekte, bzw. für Störungen und Intermittenzen derselben; für einige Affekte scheint ein nahezu periodisches Schwanken der Atmungshöhe und -frequenz charakteristisch zu sein.

Wenn sich auch eine gewisse Beziehung einiger Affekte zu diesen Atmungstypen herausgestellt hat, so wird man doch kaum so weit gehen können, eine strenge Gesetzmäßigkeit zwischen Affekt und Atmung anzunehmen. Schon die vorhergehende Untersuchung hat gezeigt, daß eine eindeutige Beziehung nicht überall zulässig ist. Die verschiedenen Versuchspersonen zeigen darin ein verschiedenes Verhalten, und auch denselben Versuchspersonen ist ein weiter Spielraum darin einzuräumen, je nach der Intensität der Affekte und den

besonderen Umständen bei der Einwirkung, hauptsächlich infolge der augenblicklichen psychischen Disposition. So kann die Erwartung sich durch Anhalten oder Verzögerung der Atmung äußern oder aber durch lebhaftere Atmungstätigkeit. In beiden Fällen ist der Affekt durchaus wahr. Vielleicht wird man im ersteren Falle der Aufmerksamkeit, im zweiten der Erregung den größeren Anteil an der Äußerungsform des Affektes zuschreiben. Ferner folgt die Unmöglichkeit einer eindeutigen Beziehung zwischen Affekt und Atmungstypus aus der Erwägung, daß die Atmung z. T. von Momenten abhängt, die dem Einflusse des Willens, bzw. einer langen Kette äußerer Bedingungen unterworfen sind. Die Momente, die für den Charakter einer Persönlichkeit bestimmend sind, die Lebensverhältnisse und die Erziehung, sind auch zum großen Teile maßgebend für die Aufnahme der Affektreize und die Ausprägungsformen der inneren Vorgänge, auch insofern sie die Atmung betreffen. Man wird aber nicht aus dem Charakter und aus den für die Sinne wahrnehmbaren besonderen Bedingungen sichere Schlüsse auf die Affektäußerung in einem speziellen Falle ziehen können.

Komplizierter noch liegen die Verhältnisse beim Puls. Denn dieser ist, wie schon frühere Versuche gezeigt haben (vgl. S. 411 bzw. 416 ff. u. 488) zum Teil von der Atmung abhängig, so daß er zum Teil als bloße Funktion der Atmung anzusehen ist. Diesen Einfluß der Atmung auf den Puls muß man eliminieren, wenn man einen direkten Einfluß der Affekte auf den Puls feststellen will.

Die Abhängigkeit von der Atmung bezieht sich auf alle drei Maße, auf die Länge, Höhe und Atemschwankung des Pulses. Die Länge des Pulses zeigt sich sowohl von der Atmungslänge wie von ihrer Höhe beeinflußt, indem eine Beschleunigung, ebenso wie eine Vertiefung der Atmung, mit Puls-

verkürzung verknüpft ist. Die Gründe dafür seien hier dahingestellt. Vielleicht hängt die Erscheinung mit der gesteigerten oder verminderten Luftaufnahme zusammen. Die Pulshöhe scheint in erster Linie von der Atmungshöhe bedingt zu sein, vielleicht auch ebenfalls von dem Atmungsquantum. Andererseits hat die Pulslänge einen Einfluß auf seine Höhe. Ein rascher Puls fällt für gewöhnlich niedriger aus als ein langsamer. Doch werden die Verhältnisse zum Teil durch die Registrierung modifiziert, da die Trägheit des Schreibhebels leichter durch einen raschen Stoß überwunden wird als durch einen langsamen Druck; dazu kommt, daß der rasche Puls eher zum Typus des pulsus celer neigt, als der langsame. Es ist daher sehr schwierig, einen Einblick in die wahren Druckverhältnisse des Pulses zu gewinnen und den direkten Einfluß der Affekte darauf sicher zu bestimmen. Ähnlich verwickelt sind die Abhängigkeitsbeziehungen der Pulsschwankung. Zunächst steht diese in engem Zusammenhang mit der Atmungslänge. Daneben aber ist sie von der Gliederung des einzelnen Atemzuges beeinflußt, da sich die Pulslänge innerhalb eines Atemzuges eng an die Phasen der Atmung anschließt. Während der Inspiration verkürzt sich der Puls, bei der Exspiration und namentlich während der Pause verlängert sich der Puls, vorausgesetzt, daß die Pause nicht allzu lang ist, so daß sich am Ende andere Faktoren geltend machen müßten. Die Pulsschwankung aber bezeichnet eben diese Differenz der Pulslängen innerhalb eines Atemzuges, weswegen auch der Name »Atmungsschwankung« des Pulses gewählt wurde (vgl. S. 417). Je markanter also die Phasen der Atmung, der Rhythmus des einzelnen Atemzuges hervortritt, desto ausgeprägter pflegt auch die Pulsschwankung zu sein. Schließlich scheint auch die absolute Pulslänge dafür in Betracht zu kommen, insofern als bei ganz kleinen Pulsen die Schwankung nicht aufkommen

kann (vgl. S. 419), bei ganz langen Pulsen dagegen die Differenzen größer ausfallen müssen.

Es leuchtet ein, daß es oft schwierig ist, die Pulsänderungen aus ihrer Abhängigkeit von der Atmung herauszulösen, um den direkten Einfluß der Affekte auf den Puls festzustellen. Die Einzelergebnisse müssen zum großen Teil hypothetisch bleiben.

Am sichersten lassen sich noch die von der Atmung unabhängigen Variationen der Pulslänge bestimmen. Vergleicht man die Ergebniskurven über Atmungs- und Pulslänge (Tafel I u. IV), so scheint es zunächst, als ob gar kein besonderer Einfluß der Affekte auf den Puls vorhanden wäre. Denn die Kurven der Atmungs- und Pulslänge zeigen auf den Tafeln eine überraschende Parallelität. Fast sämtliche Schwankungen der Atmungslänge finden sich als analoge Variationen der Pulslänge wieder, und die wenigen Abweichungen erklären sich meistens leicht durch Zuhilfenahme der veränderten Atmungshöhe (so beim Geruch). Dennoch muß man den Affekten eine direkte Wirkung auf die Pulslänge zuschreiben. Denn wenn auch die Einzelschwankungen der Atmungslänge fast sämtlich in der Kurve der Pulslänge wiederkehren, so zeigt doch diese Kurve bei den verschiedenen Affekten im ganzen ein Steigen oder Sinken, das sich nicht auf die Atmungsverhältnisse zurückführen läßt. Eliminiert man zunächst den von der veränderten Atmungslänge herrührenden Einfluß, so weit es möglich ist, so scheinen folgende relative Änderungen der Pulslänge bei den Affekten zu bestehen. Verkürzung des Pulses herrscht bei der Erwartung, dem Schreck (im 2. Stadium) und der Aufregung, meistens bei der Besorgnis und manchmal beim Ärger; außerdem beim Aufmerken, Sprechen und Lachen. Pulsverlängerung zeigt sich bei Freude und weniger bei Hoffnung (bei dieser vielleicht nur als Nachwirkung der vorhergehenden Freude),

bei Enttäuschung, im ersten Augenblick des Schrecks, beim Mitleid, häufig beim Ärger, unter Umständen auch bei Besorgnis; ferner, wie schon oben festgestellt wurde, bei den späteren Normalkurven (Ermüdung), sofern sie nicht durch voraufgehende Affekte beeinflußt sind. Bei A zeigt sich auch während der Aufregung eine Pulsverlängerung als Reaktion gegen die Einwirkung des Schrecks. Bei dem Affekt der Lustigkeit ist, je nach seiner Zusammensetzung und dem Grade, beides möglich, Pulsverkürzung oder Pulsverlängerung. Zieht man ferner die Atmungshöhe in Rücksicht, so fallen wahrscheinlich aus der obigen Aufzählung noch die Pulsverlängerungen beim Mitleid und Ärger als mittelbare durch die Atmung bedingte Affektwirkungen fort. Denn beim Mitleid und Ärger kann die Pulsverlängerung durch die offensichtliche Reduzierung des Atmungsquantums bewirkt sein, ebenso wie beim unangenehmen Geruch, wo die Atmung langsamer und niedriger verläuft. In den übrigen Fällen, wo die Atmung sicherlich reduziert ist, bei der Erwartung und dem Schreck, findet sich trotzdem Pulsverkürzung, so daß darin eine direkte Affektäußerung des Pulses um so klarer ausgesprochen ist. Man sieht, daß eine derartige Veränderung, wo die Affekte der Freude, Hoffnung, Enttäuschung und die Ermüdungskurven auf der einen Seite stehen und die Affekte der Erwartung, Aufregung und Besorgnis, sowie der Aufmerksamkeitszustand auf der anderen, nicht durch den Lust-Unlustcharakter der Affekte bestimmt sein kann. Eher wird die mit den Affekten verbundene Erregung oder Entspannung bzw. Erschlaffung einen Erklärungsgrund dafür abgeben können.

Die direkten Veränderungen der Pulshöhe bei den Affekten lassen sich nur mit Vorbehalt angeben. Berücksichtigt man die Atmungshöhe, so erklärt sich die Pulserniedrigung bei der Enttäuschung, im weiteren Verlaufe der

Aufregung, beim Mitleid und beim unangenehmen Geruch. Als eigentliche Affektwirkungen scheinen demnach bestehen zu bleiben die Pulserhöhungen beim Schreck (im 2. Stadium) und beim Ärger; ferner parallel mit der Pulslänge die Erhöhung bei Freude, Hoffnung und die Pulserniedrigung bei der Erwartung, Besorgnis, dem Aufmerken, Sprechen, Lachen. Es ist jedoch zu bemerken, daß dabei die Pulshöhe nicht allein von der Länge bestimmt wird. Wenigstens erscheint die Erniedrigung auch im Vergleich zur Kürze des Pulses anormal.

Die Atmungsschwankungen des Pulses lassen wegen der Verschiedenheit der zugrunde liegenden Faktoren am allerwenigsten eine Gesetzmäßigkeit für die einzelnen Affekte erkennen. Denn wenn schon in den die Pulsschwankungen bedingenden Faktoren erhebliche Abweichungen der einzelnen Versuchspersonen bei den Affekten zu verzeichnen waren, so ist das um so mehr bei den Atmungsschwankungen der Fall, da sie aus mehreren differenten Faktoren resultieren. Einige allgemeine Angaben lassen sich jedoch machen. Durch Abspannung (Ermüdung) und ebenfalls durch Aufmerksamkeit (vgl. Erwartung) nimmt die Schwankung relativ ab, auch manchmal beim Mitleid infolge des langsamen (zurückgehaltenen) Atmungsprozesses. Zunahme der Schwankung kommt am häufigsten vor bei Freude und Hoffnung, also bei energischer, nicht zu aufgeregter Lebenstätigkeit. Zum Teil eine Folge der Atmungslänge ist die größere Schwankung beim Schreck und der Aufregung. Auch ein rascher Affektwechsel ist in einigen Fällen für die Größe der Schwankung verantwortlich zu machen.

Von den Atmungsschwankungen des Pulses abgesehen, ergeben sich als direkte Affektäußerungen die Typen der Pulsverkürzung und Pulsverlängerung. Beide können mit Pulserhöhung oder -erniedrigung verknüpft sein, so daß die Zustände der Aufregung, des erhöhten Verbrauches bei geistiger oder

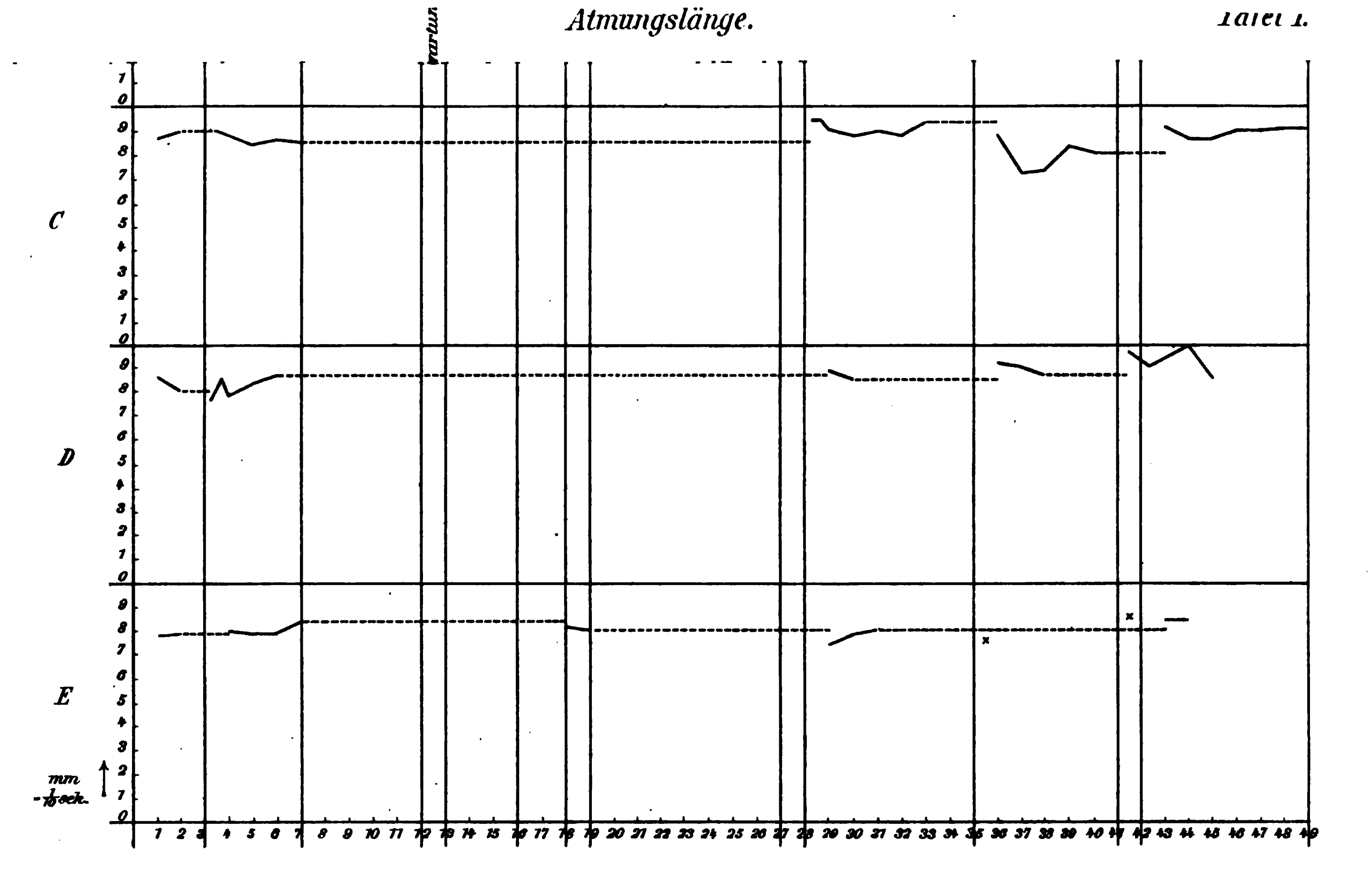
körperlicher Tätigkeit, der Erschöpfung und der Erholung zu unterscheiden wären. Die ersten beiden Zustände sind durch Pulsverkürzung charakterisiert, die beiden letzteren durch Pulsverlängerung. Und zwar zeigt sich, damit verbunden, Pulserniedrigung beim Tätigkeitstypus (wenn nicht durch lange Anstrengung eine Erregung ausgelöst wird) und im Zustande der Erschlaffung. Pulserhöhung ist ein begleitender Umstand beim Gefühl der Erregung und im Zustande fortgeschrittener Erholung bzw. kräftiger Lebensfunktion.

Überblickt man die Ergebnisse der Arbeit, so darf man trotz des geringen Materials und der den Versuchen anhaftenden Mängel schließen, daß es konstante Affektbilder in den Atmungs- und Pulserscheinungen nicht gibt und auch wohl kaum geben kann. Denn dasjenige, was dem Affektbilde sein Gepräge verleiht, und was in vielen Fällen eine gewisse Übereinstimmung in den Äußerungen gleicher Affekte hervorruft, so daß man Regeln für diese Erscheinungen aufstellen möchte, ist nicht so sehr durch die unter den Namen eines einzelnen Affektes zusammengefaßten Gefühlszustände und -prozesse bestimmt, als vielmehr durch das individuelle Verhalten der Versuchspersonen gegenüber den Affektreizen. Der einzelne Affekt äußert sich verschieden, je nach den augenblicklichen Bedingungen, die für die Person vorhanden sind, und nach der persönlichen Eigenart. Denn die Affektreize treffen nicht einen physiologischen Organismus schlechthin, sondern den einer entwickelten Persönlichkeit im Zusammenhange mit dem übrigen psychischen und physiologischen Geschehen. Nach den Bedingungen des Augenblickes und dem »Charakter« der Person wird ein natürliches Hingeben an den Reiz oder ein mehr oder weniger bewußter Widerstand erfolgen, ohne daß sich durch dieses Verhalten das Wesen des Affektes, sein Gefühlsinhalt so weit änderte, daß ein anderer

Name erforderlich wäre. Wohl aber ändern sich dadurch die Erscheinungsformen des Affektes so beträchtlich, daß sich spezifische Symptome nicht mehr feststellen lassen. Man wird daher stets nur ein dem gewöhnlichen Verhalten der Personen entsprechendes Bild für die einzelnen Affekte entwerfen können, unter Berücksichtigung verschiedener Typen. Andererseits ist die Differenzierung der Ausdruckserscheinungen nicht reich genug, daß man aus den Bildern bestimmte Affekte herauslesen könnte. Auch kann man nicht erwarten, daß die Kurven desselben Affektes für dieselbe Person ausnahmslose Gleichartigkeit aufweisen. Davon legen auch die Ergebnistabellen ein beredtes Zeugnis ab. Das einzige, was man mit einiger Sicherheit aus den Kurven ablesen kann, sind die allgemeinsten Eigenschaften affektiver Zustände, die Erregung oder Hemmung. Neben dem normalen Ruhezustande hebt sich ein Typus gesteigerter Tätigkeit ab von einer auch unter die Norm sinkenden Relaxation des Atems und Pulses. Der normative Ruhezustand ist dabei wohl kaum als etwas den affektiven Zuständen eigentlich Entgegengesetztes aufzufassen, sondern als eine relative Erscheinung, ein Nachlassen der Erregung oder Hemmung; er ist selber ein affektiver Zustand, wenn auch von geringerer Intensität, da es sich um einen Zustand relativer Gleichartigkeit handelt, aber von wechselndem Aussehen je nach seinem Zusammenhange mit den vorangegangenen psychischen und physiologischen Prozessen. Daher die Inkonstanz der Normalwerte. Puls und Atmung zeigen sich nicht immer im gleichen Sinne von den Affekten beeinflußt. Innerhalb weiter Grenzen besteht eine Abhängigkeit oder Parallelität zwischen diesen Prozessen. Doch ist sehr häufig auch eine direkte, den Atmungsverhältnissen entgegengesetzte oder von ihnen unabhängige Beeinflussung des Pulses zu bemerken. Gerade diese direkte Einwirkung auf den Puls ist dasjenige, was an den Pulsver-

änderungen bei der Untersuchung und der Theorie der Affekte besonders interessiert. Denn die übrigen Pulserscheinungen ergeben sich unmittelbar aus den jeweiligen Atmungsverhältnissen und sind daher ohne weiteres daraus abzuleiten. Sind die Atmungsverhältnisse bestimmt, so geben die allgemeinen Angaben über die absoluten Pulsveränderungen meist keinen genaueren Aufschluß mehr über den Charakter der Affekte. Nur die relativen Änderungstendenzen, in denen sich eine besondere Affektwirkung auf den Puls ausspricht, können ein neues Moment für die Eigenart eines Affektes liefern, wenn keine quantitativen Unterschiede mitgeteilt sind.

Geht man bei der Analyse der Affekte von den physiologischen Begleiterscheinungen in Atmung und Puls aus, so wird man, das ist das Hauptergebnis, über die alte Unterscheidung sthenischer und asthenischer Zustände kaum hinausgelangen.



Lith. Anst. Julius Klinkhardt, Leipzig.

Tafel II.

Atmungshöhe.

8
7
6

Atmungspause.

Tafel III.

Normal · Lustigkeit · Freude · Hoffnung · Erwart. · Enttäusch. · Normal · Schreck · Aufregung · Mitleid · Norm. · Ärger · Besorgnis · Norm. · Ekel (?)

cm
— sek.

A · B · C · D · E

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

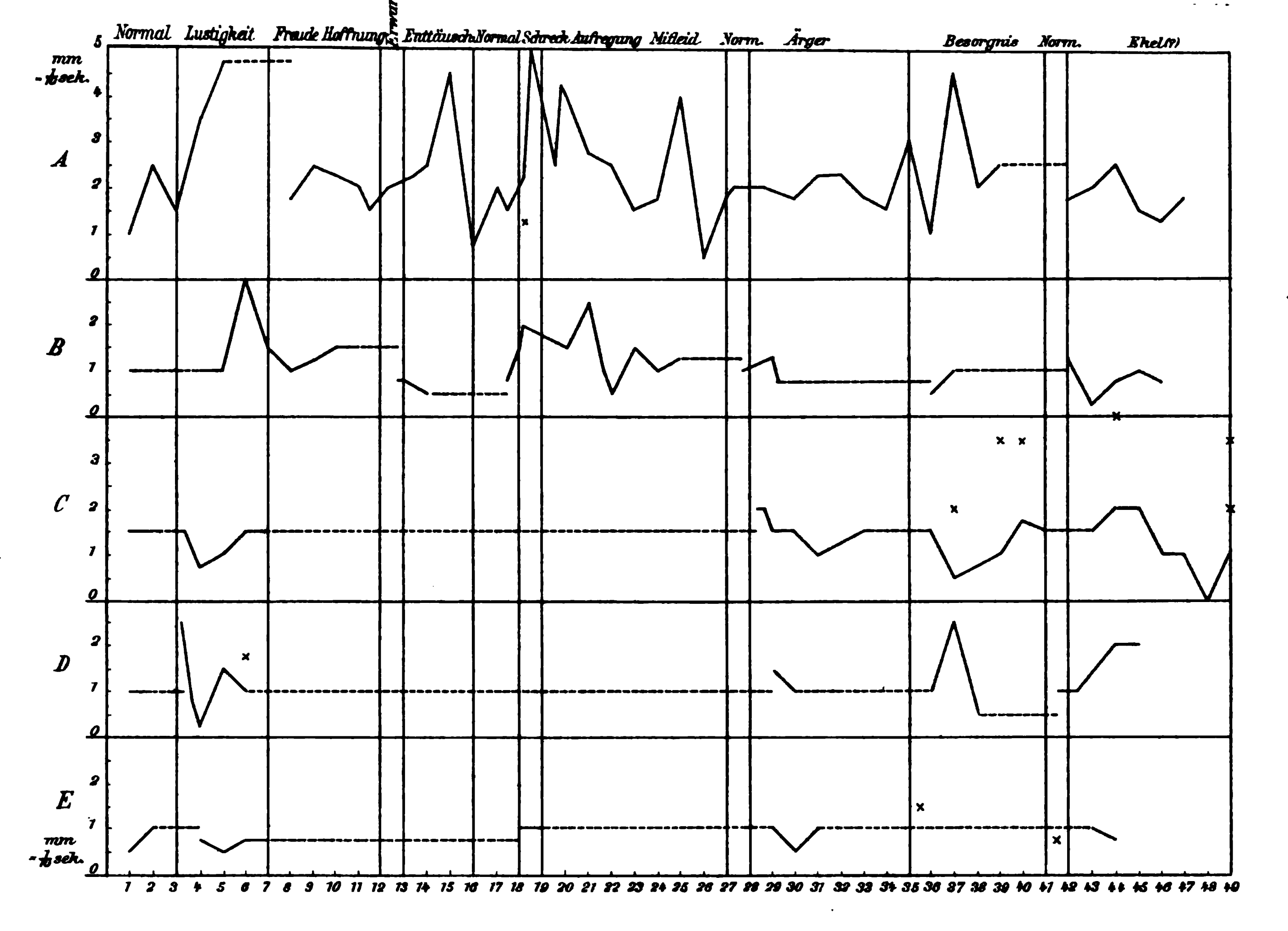
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49

21,6 · 6 · 4,8

Atmungsschwankung des Pulses.

Tafel IV

Verlag von Wilhelm Engel



...ann u. Leipzig.

Lith. Anst. Julius Klinkhardt, Leipzig.

